



**UNIVERSIDADE DO MINDELO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR**

## **CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**Relatório de Trabalho de Conclusão Curso**  
**ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO**

**Tema: Dimensionamento de um Conversor de Energia das Ondas,  
Usando a Tecnologia de Flutuador com Câmara Hiperbárica**

**Autor: Jennifer da Cruz Fonseca, N.º 3845**

**Orientador: Prof. Mestre Susana Castro**

**Mindelo, 2019**

# **CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

## **RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO**

**Projeto de dimensionamento de um conversor de energia das  
ondas, utilizando a tecnologia de flutuador com câmara  
hiperbárica**

**Autor: Jennifer da Cruz Fonseca**

**Orientador: Mestre Susana Castro**

**Mindelo 2019**

**Jennifer da Cruz Fonseca**

**Projeto de dimensionamento de um conversor de  
energia das ondas, utilizando a tecnologia de flutuador  
com câmara hiperbárica**

Projeto do Trabalho de Conclusão do Curso,  
apresentado à Universidade do Mindelo como parte  
dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura  
em Engenharia em Energias Renováveis.

Orientador: Mestre Susana Castro

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este Trabalho à minha família, e à todos os meus amigos e colegas que me apoiaram direta ou indiretamente.

## **AGRADECIMENTOS**

Expresso o meu maior agradecimento à minha família pelo apoio incondicional e por sempre estarem presente nos momentos de maior necessidade. Agradeço aos meus amigos e ao meu namorado que sempre me apoiaram e acreditaram em mim durante o meu percurso académico.

E também à Mestre Susana Castro pela sua enorme dedicação e apoio durante o meu trabalho. Sinto-me profundamente agradecida pelo excelente apoio e permanente disponibilidade em me atender e orientar durante o progresso do Trabalho.

## ÍNDICE

DEDICATÓRIA .....	III
AGRADECIMENTOS .....	IV
RESUMO .....	IX
ABSTRACT .....	X
CAPITULO I: INTRODUÇÃO.....	1
1.1- Setor Energético em Cabo Verde.....	1
1.2- Justificativa .....	3
1.3- Objetivos .....	4
Objetivo geral .....	4
Objetivos específicos .....	4
1.4- Metodologia .....	5
1.5- Estrutura do Trabalho .....	5
CAPITULO II: ESTADO DA ARTE.....	6
2.1- Energia Das Ondas .....	6
2.2- Ondas .....	7
2.3- Teoria Linear Das Ondas .....	8
2.3.1- Comprimento e período da onda.....	9
2.3.2- Celeridade de uma onda.....	10
2.3.3- Cinemática das partículas água.....	11
2.3.4- Celeridade de grupo .....	12
2.3.5- Energia de onda.....	12
2.3.6- Potência de onda .....	13
2.4- Classificação Das Tecnologias De Aproveitamento Da Energia Das Ondas .....	13
2.5 Tecnologias Existentes .....	14
2.5.1- Wave dragon .....	14
2.5.2- AquaBuOY .....	15
2.5.3- Pelamis.....	16
2.5.4- Archimedes wave swing .....	16
2.5.5- Colunas de água oscilante .....	17
2.5.6- Conversor câmara hiperbárica .....	18
2.5.7- WaveRoller .....	18
2.6- Conversor Câmara Hiperbárica.....	19
2.6.1- Flutuador e bomba hidráulica .....	20

2.6.2- Acumulador hidropneumático e câmara hiperbárica .....	22
2.6.3- Turbina hidráulica .....	24
2.6.4- Geradores .....	25
2.6.5- Topologia linear e rotativa .....	25
2.7- Potencial Energético Marítimo Em Cabo Verde .....	26
2.8- Impactes Ambientais Associados a Conversão Da Energia Das Ondas.....	27
CAPITULO III: CASO DE ESTUDO .....	29
3.1- Local De Implementação .....	29
3.2- Análise Do Recurso Marítimo Do Local .....	31
3.3- Calculo Dos Principais Parâmetros Da Onda .....	33
3.4- Energia e Potencia Disponível Na Onda .....	34
3.5- Dimensionamento Do Conversor .....	35
3.5.1- Escolha do gerador.....	35
3.5.2- Conexão do gerador com a rede elétrica.....	37
3.5.3 Escolha do inversor e do retificador.....	37
3.5.4- Escolha da turbina.....	40
3.5.5- Velocidade na entrada do acumulador .....	42
3.5.6- Caudal .....	42
3.5.7- Câmara hiperbárica .....	42
3.5.8- Flutuador .....	43
3.6- Viabilidade Economica Do Projeto .....	44
3.7- Estimativa De Numero De Habitação Alimentada Pelo Sistema .....	49
CAPITULO IV: CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	50
4.1- Conclusão .....	50
4.2- Propostas De Trabalhos Futuros.....	51
CAPITULO V : REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
ANEXOS .....	55
Anexo- 1: Produtores de energia em Cabo Verde .....	55
Anexo- 2: Consumo Específico .....	56

## Índice de Figuras

Figura 1: Distribuição Mundial de Potência das Ondas kW/ m .....	8
Figura 2: Definição dos parâmetros da onda a duas dimensões segundo a teoria linear...	9
Figura 3: Forma do trajeto elíptico para águas a) profundas, b) intermédias e c) rasas ..	11
Figura 4: Esquema de Funcionamento do Wave Dragon .....	15
Figura 5: Principais partes constituintes do AquaBuOY e seu princípio de funcionamento .....	15
Figura 6: Princípio de Funcionamento do Pelamis.....	16
Figura 7: Princípio de Funcionamento © AWS Ocean Ltd.....	16
Figura 8: Dispositivo Baseado em Coluna de Água Oscilante.....	17
Figura 9: Conversor .....	18
Figura 10: Ilustração da tecnologia WaveRoller .....	19
Figura 11: Topologia do conversor de energia das ondas .....	20
Figura 12: Funcionamento do dispositivo .....	21
Figura 13: Topologia do acumulador hidropneumático e variáveis envolvidas na modelagem. ....	22
Figura 14: Representação esquemática da turbina .....	24
Figura 15: Localização da zona São Pedro.....	29
Figura 16: Carta Barimétrica de São Vicente .....	30
Figura 17: Gerador Síncrono de Imas permanentes .....	36
Figura 18: Conexão do gerador elétrico com a rede elétrica .....	37
Figura 19: Inversor .....	38
Figura 20: Turbina.....	40
Figura 21: Dados de entrada.....	46

## Índice de Gráficos

Gráfico- 1: Variação da Ondulação .....	31
Gráfico- 2: Frequência de ocorrência da ondulação .....	32
Gráfico- 3: Frequência de ocorrência do Período de Vaga .....	32
Grafico- 4: Cumulativo.....	48



## Índice de Tabelas

Tabela 1: Produção de energia térmicas e renováveis .....	2
Tabela 2: Energia produzida em 2018 em Cabo Verde por fonte .....	3
Tabela 3: Variação dos dados climáticos em São Pedro, São Vicente.....	30
Tabela 4: Cálculo dos parâmetros da onda.....	34
Tabela 5: Características do gerador .....	36
Tabela 6: Características do inversor.....	38
Tabela 7- Principais Características do Retificador .....	39
Tabela 8: Características da turbina .....	41
Tabela 9: Cálculos .....	44
Tabela 10: Custos do Projeto.....	45
Tabela 11: Parâmetros Financeiros do Projeto .....	46
Tabela 12: Custos/ Economia/ Receitas .....	47
Tabela 13: Viabilidade Financeira do Projeto .....	48

## **RESUMO**

O aproveitamento do recurso energético das ondas, constitui uma real oportunidade para suprir as demandas energéticas em diversos países . Em Cabo Verde, na localidade de São Pedro em São Vicente, possui um notável potencial energético que pode ser aproveitada para a geração de energia elétrica.

O objetivo principal deste projeto é dimensionar um conversor de energia das ondas, na localidade de São Pedro, usando a tecnologia de flutuado com câmara hiperbárica. Devido a intermitência das fontes renováveis de energia, no referido projeto foi necessário utilizar um conversor CA-CC-CA, mantendo os valores de tensão e de frequência constante.

No dimensionamento utilizado, a instalação de um conversor deste tipo na referida localidade apresenta uma viabilidade económica positiva, podendo alimentar 39,3% da população de São Pedro, obtendo anualmente uma economia e receita de 2 365 200\$00.

## **Palavras Chave**

Ondas do mar / São Pedro / conversor de energia / tecnologia de flutuador / câmara hiperbárica.

## **ABSTRACT**

Harnessing the energetic resource of sea waves is a real opportunity to supply energetic requirements in several countries. In Cape Verde, San Pedro, on San Vicente Island, has got a remarkable energetic potential which may be harnessed to generate electrical power.

The main goal of this study is to dimension a sea wave energy converter using floater technology with hyperbaric chamber. Due to the intermittence of the renewable energy sources, it was necessary to use a converter AC-CC-AC in the above referred to project however keeping the tension and frequency values constant.

In the dimensioning used here, the installation of a converter of this kind in San Pedro has a positive economic viability, and will be able to feed 39,3% of the local population, producing an yearly income of CVE 2.365.200\$00.

## **Key Words:**

Sea waves / San Pedro / energy converter / floater technology / hyperbaric chamber

## **Lista de Abreviaturas**

**A-** Ampere

**AEB-** Águas e Energia de Boa Vista

**AWS-** Archimedes Wave Swing

**APP-** Águas Ponta Preta

**CA-** Corrente Alteranda

**CAO-** Coluna de Água Oscilante

**CC-** Corrente Contínua

**cm-** Centímetro

**CO<sub>2</sub>-** Dioxido de Carbono

**ECV-** Escudo Caboverdiano

**gr-** Gramas

**GPL-** Gás de Petrólio Liquefeito

**Hz-** Hertz

**km-** Quilometro

**kWh/m<sup>2</sup>-** quilowatt hora por metro cubico

**m-** Metro

**mm-** Milimetro

**MWh-** Megawatt hora

**m<sup>3</sup>/s-** Metro cbico por segundo

**N/m<sup>2</sup>-** Newton por metro quadrado

**rad/s-** Radiano por segundo

**t-** Tonelda

**TIR-** Taxa Interna de Retorno

**UCP-** Unidade de Conversão Primária

**UCS-** Unidade de Conversão Secundária

## **CAPITULO I: INTRODUÇÃO**

O presente trabalho tem como finalidade o desenvolvimento de um projeto de dimensionamento de um conversor de energia das ondas, usando a tecnologia de flutuador com câmara hiperbárica.

Segundo Sarmiento *et al* (2004) os desafios impostos pela necessidade de implementar políticas que assegurem um desenvolvimento sustentável são particularmente pertinentes no domínio da energia. Cada vez mais somos confrontados com a exigência de encontrar nas energias renováveis uma alternativa real e fiável às formas convencionais de produção de energia elétrica, responsáveis por sérias ameaças ao meio ambiente.

Já se encontram disponíveis diversas formas de captação de energia das ondas e muitos dispositivos de conversão estão sendo testados. Neste sentido uns em estado avançado e outras em estado de desenvolvimento.

Sendo a energia das ondas uma energia limpa e inesgotável e sabendo que a superfície terrestre maioritariamente coberta de água funciona como um coletor solar armazenando a energia sob forma de ondas e é um recurso que está à nossa disposição.

### **1.1- Setor Energético em Cabo Verde**

A energia consumida em Cabo Verde é maioritariamente constituída por derivados do petróleo (GPL-Gás de Petróleo Liquefeito, gasolina, petróleo, gasóleo, fuel óleo e Jet A1).

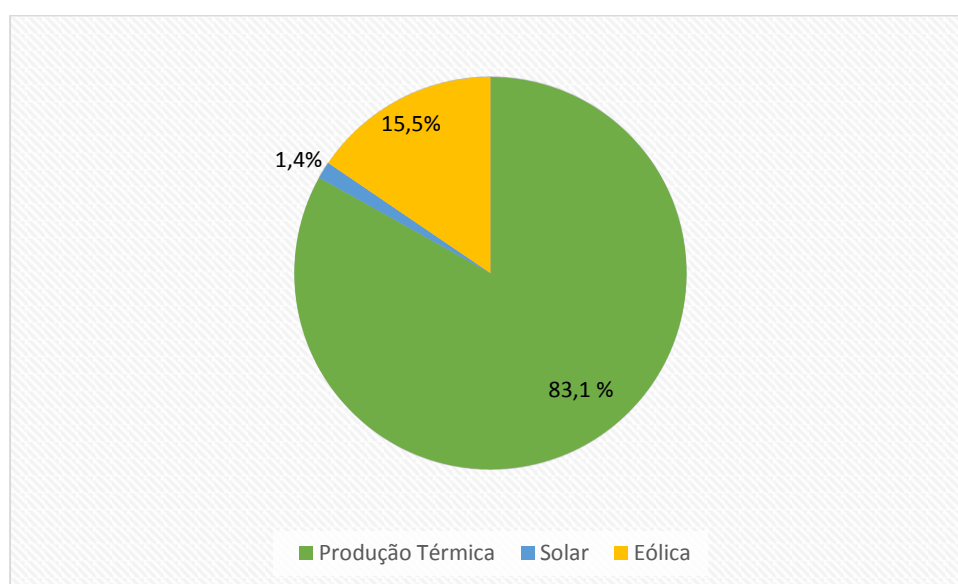
A produção de energia em Cabo Verde reparte-se por três grupos de tecnologias: Térmica, Eólica e Solar Fotovoltaica. A produção térmica utiliza combustível de origem fóssil, o fuelóleo e o gasóleo (Electra, 2018).

A principal empresa a operar no setor elétrico em Cabo Verde é a empresa de eletricidade e água – ELECTRA S.A., empresa pública que tem desde 2000 a concessão da rede de distribuição e opera as maiores centrais de produção. A exceção é a ilha da Boavista onde opera a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB) como subconcessionária do serviço público (Cabo Verde TradeInvest).

Segundo a mesma fonte, na ilha do Sal opera, desde 2005, ainda a empresa Águas de Ponta Preta (APP), empresa de tratamento de água e energia. Na área das energias renováveis o maior produtor de energia elétrica de origem eólica é a Cabeólica, S.A. uma empresa de parceria público-privada que iniciou a sua atividade em Cabo Verde em 2009 com a instalação de 4 parques eólicos, num total de 25,5 MW, nas ilhas de São Vicente, Sal, Boavista e Santiago. A empresa privada ELECTRIC WIND desenvolveu e tem explorado um Parque Eólico de 2 unidades de 250 kW cada, na ilha de Santo Antão.

Em 2017, cerca de 83,1% da energia elétrica produzida em Cabo Verde foi de origem térmica, representando um aumento de 13% em relação ao ano anterior. A energia elétrica de origem eólica contribuiu com cerca de 15,5%, em 2017 para o total da produção de energia elétrica, tendo registado uma diminuição de 1,3% quando comparado com 2016. A contribuição da energia solar no mix de produção de energia elétrica continua a ser de 1,4%, percentagem igual à obtida em 2016.

Tabela 1: Produção de energia térmicas e renováveis



Fonte: Adaptado de Electra 2016

Os dados da Tabela 2, indicam a produção de energia pelos grupos das tecnologias térmicas e renováveis. A ilha que apresenta uma maior taxa de penetração de energias renováveis em 2018 é a ilha do São Vicente, com uma taxa de 24,9%. É de salientar que na ilha do Fogo e Brava a taxa de penetração de energias renováveis é nulo (INE, 2017).

Tabela 2: Energia produzida em 2018 em Cabo Verde por fonte

	Produção Térmica (GWh)	Produção Renovável (GWh)	Total Produção (GWh)	Taxa de Penetração ER (%)
<b>Cabo Verde</b>	<b>393</b>	<b>100</b>	<b>493</b>	<b>20,3</b>
Santo Antão	15,8	1,3	17,1	7,8
S. Vicente	56,2	23,4	79,6	29,4
S. Nicolau	6,8	0,0	6,8	0
Sal	65,8	23,6	89,4	26,4
Boa Vista	31,8	8,9	40,7	21,8
Maio	3,6	0,0	3,6	0
Santiago	196,9	42,8	239,6	17,9
Fogo	13,8	0,0	13,8	0
Brava	2,8	0,0	2,8	0

Fonte: [www.energiasrenovaveis.cv](http://www.energiasrenovaveis.cv)

## 1.2- Justificativa

O desenvolvimento desse projeto surge no sentido de trazer resposta à questão do desenvolvimento energético, sendo que os combustíveis fósseis têm prejudicado de uma forma trágica o meio ambiente desde a invenção de máquinas a vapor até à atualidade. Libertando toneladas de gases com efeito estufa para a atmosfera causando mudanças climáticas irreversíveis.

O combustível fóssil sendo não renovável, ou seja, seu tempo de renovação é longo e o homem não consegue acompanhar, seu uso excessivo leva à diminuição das reservas.

Visto que a energia das ondas é um alternativa promissora, limpa e abundante, muitos países têm adotado essa tecnologia sendo esta uma forma de ultrapassar a dependência de combustíveis fósseis, apesar do seu elevado custo de implementação contínua sendo uma alternativa viável. Estudos recentes têm como objetivo a redução de custos e melhoraria da eficiência.

### **1.3- Objetivos**

#### **Objetivo geral**

- O objetivo geral é dimensionar um conversor de energia das ondas, usando a tecnologia de flutuador com câmara hiperbárica.

#### **Objetivos específicos**

- Estudar as tecnologias de conversão de energia das ondas.
- Analisar os parâmetros para dimensionar um conversor de energia das ondas.
- Calcular os parâmetros de onda.
- Avaliar a viabilidade económica para instalação de um conversor de energia das ondas.



## **1.4- Metodologia**

O projeto foi dividido em fases, onde na primeira fase ocorreu a recolha de informações através de pesquisa bibliográfica, em que as informações encontradas e os projetos já realizados foram comparados para melhor escolha da tecnologia a ser utilizado.

Numa segunda fase procedeu-se à escolha do local onde se pretende efetuar a instalação do dispositivo. No site windguru foram recolhidas informações de ondulação e de período de vaga do ano 2019. A recolha dessas informações foi de extrema importância para analisar o potencial marítimo na zona de São Pedro em São Vicente.

Por fim foi realizado o dimensionamento do conversor em função das equações definidas no estado da arte. Tendo dimensionado todos os parâmetros do dispositivo procedeu-se à escolha da turbina e do gerador que melhor se adequa ao sistema.

## **1.5- Estrutura do Trabalho**

O trabalho foi dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é apresentado uma breve introdução, setor energético de Cabo Verde, objetivo geral e específicos e a metodologia utilizada.

No capítulo dois, aborda-se a energia das ondas, principais tecnologias de conversão de energia das ondas, tendo incidido mais na tecnologia de um flutuador com câmara hiperbárica, analisando as principais equações que permitem efetuar o dimensionamento do dispositivo, e o cálculo da energia e potência contida em uma onda.

No terceiro capítulo o caso de estudo, apresentando o local de implementação do projeto bem como o potencial marítimo do local, cálculos dos principais parâmetros da onda, energia e potência disponível na onda.

No capítulo quatro as considerações finais e por ultimo as devidas referencias bibliográficas.

## **CAPITULO II: ESTADO DA ARTE**

### **2.1- Energia Das Ondas**

De acordo com Sarmiento e Cruz (2004), o oceano dispõe de uma vasta quantidade de energia mecânica na forma de ondulação marítima. As necessidades económicas e o quadro político tem dirigido atenções para este recurso largamente inexplorado, incrementando a competitividade dos processos de extração de energia do mar com vista a sua integração nos sistemas de energia elétrica.

Com base no mesmo autor citado, a energia encontra-se no mar sob diversas formas:

- ✓ Energia das ondas- Extraída das ondas em superfície ou sub-superfície e pode ser aproveitada para produção de Energia, utilizando diferentes tecnologias e dispositivos;
- ✓ Energia das marés- Extraída tanto da sua componente cinética, através de turbinas, como de potencial, através de barragens;
- ✓ Energia das correntes- Energia cinética extraída das correntes marinhas através de dispositivos modulares. Utiliza o diferencial de temperatura entre as águas quentes superficiais e as geladas águas profundas e é aproveitada através de diferentes processos de conversão de energia;
- ✓ Energia do diferencial térmico- Aproveita-se a energia osmótica da diferença de salinidade entre a água doce e a água salgada dos estuários através de processos de osmose reversa e tecnologias de conversão.
- ✓ Energia do diferencial de salinidade- Aproveita-se a energia osmótica da diferença de salinidade entre a água doce e a água salgada dos estuários através de processos de osmose reversa e tecnologias de conversão.

Segundo Calejo (2012), existem várias razões que levam muitos autores a considerar que o aproveitamento da energia contida nas ondas poderá sofrer um desenvolvimento em massa como o que atualmente se verifica na instalação de aerogeradores para

aproveitamento da energia eólica. Entre as principais razões apontadas podemos destacar as seguintes:

- ✓ Cerca de 71% da superfície terrestre está coberta de água, que funciona como um enorme coletor solar e armazena energia sob a forma de ondas;
- ✓ O recurso disponível por unidade de área, é aproximadamente 50 vezes superior à energia solar e cerca de 15 vezes superior à energia eólica;
- ✓ É uma fonte de energia limpa e inesgotável;
- ✓ Não requer grandes infraestruturas em terra, como estradas e terrenos de instalação, comparativamente com o caso das instalações de energia eólica e solar convencionais;
- ✓ O impacto visual e ambiental dos dispositivos de aproveitamento de energia das ondas é reduzido.

## **2.2- Ondas**

As ondas resultam da interação de duas forças. As forças predominantes são a pressão atmosférica originada pela ação do vento, os tremores de terra, a gravidade da Terra e dos corpos celestiais (Sol e a Lua), as forças de Coriolis (devido à rotação da terra) e a tensão à superfície do Oceano (Morais, 2009).

O processo principal da formação da onda reside na existência de um fluxo inicial de ar algures no Oceano, que exerce uma tensão tangencial sobre a superfície do Oceano, resultando na formação e crescimento de ondas. O fluxo de ar turbulento próximo da superfície dá origem a uma rápida variação da tensão de corte e diferenças de pressão. Quando estas variações se encontram em fase com as ondas já existentes ocorrem novos desenvolvimentos do estado da onda (Thorpe, 1999).

Segundo o mesmo autor, o processo é maximizado quando a velocidade do vento é igual à velocidade da onda. A quantidade de energia transferida e a dimensão das ondas resultantes dependerá da duração, da velocidade, da distância que o vento sopra sobre a superfície do Oceano, da profundidade e topografia do fundo do mar.

De acordo com Coelho (2007), a energia transportada pelas ondas é proporcional ao quadrado da amplitude e ao período. Na verdade o estado do mar resulta, em cada lugar e momento, da sobreposição linear dum grande número de ondas, estabelecendo-se um espectro de ondas para o descrever. E a partir deste modelo que se identifica a quantidade média de energia disponível por frente de onda, é possível registrar os valores globais da distribuição da potência. A Figura 1 mostra a distribuição da potência nas ondas no mundo.

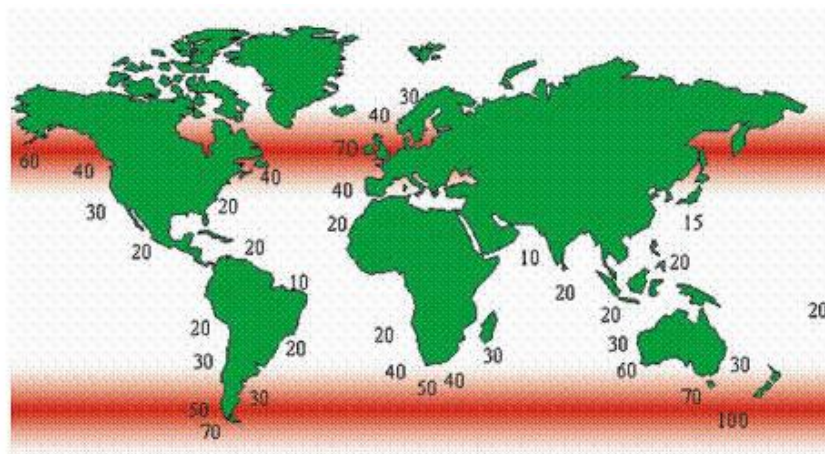


Figura 1: Distribuição Mundial de Potência das Ondas kW/ m

Fonte: CRES, 2002.

### 2.3- Teoria Linear Das Ondas

Segundo McCormick, (2007), a teoria linear da onda permite compreender as características da onda, e sendo de fácil aplicação, para obter os resultados desejados para diversas aplicações, sem ter de recorrer a métodos de cálculo de maior complexidade.

Na figura 2 estão representadas as principais variáveis a ter em consideração na análise da propagação de uma onda. Considerando a profundidade ( $h$ ) constante relativamente ao nível médio da água, o perfil da superfície da água ( $\eta$ ) em função do tempo ( $T$ ), a altura da onda ( $H$ ) e comprimento de onda ( $\lambda$ ).

O número de onda ( $k$ ) e a frequência angular ( $\omega$ ) são dois parâmetros característicos das ondas muitas vezes tomados em consideração.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

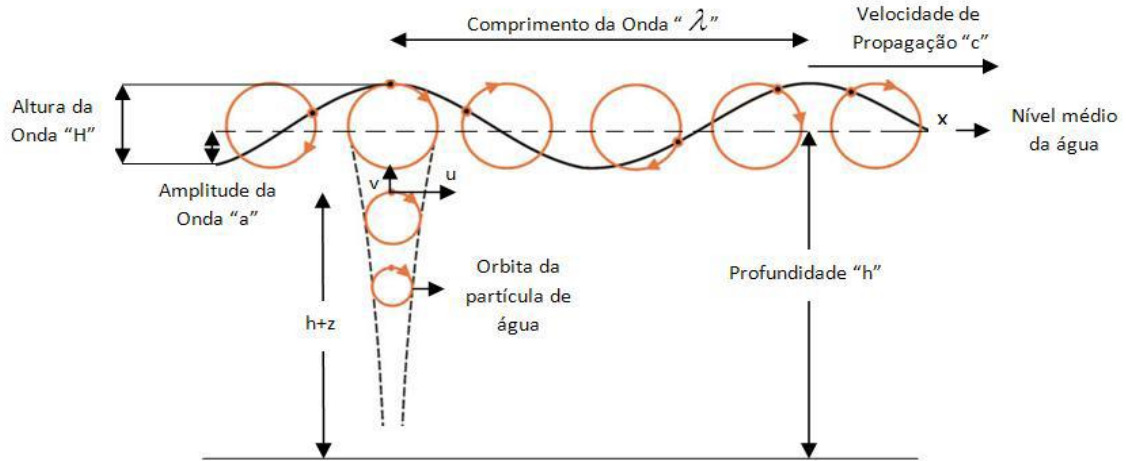


Figura 2: Definição dos parâmetros da onda segundo a teoria linear

Fonte: Calejo, 2012.

### 2.3.1- Comprimento e período da onda

O comprimento de onda é a distância percorrida entre dois pontos idênticos e consecutivos da onda (unidade S.I metros). Para calcular o comprimento de uma onda, utiliza-se a equação com um erro de 10% (McCormick, 2007).

$$\lambda = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 \cdot h}{g \cdot T^2}\right)} \quad (3)$$

No caso de águas profundas<sup>1</sup> é utilizada a equação 4:

$$\lambda_0 = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \quad (4)$$

<sup>1</sup> Para o caso de águas profundas:

- A razão entre a profundidade e o comprimento de onda deve ser maior ou igual a 0,5;
- O produto entre o número de onda e a profundidade deve ser maior que 3,14.

O período representa o tempo que demoram 2 cristas sucessivas a passar por um ponto fixo pode ser descrito pela seguinte equação (Branco, 2006):

$$T = 2\pi \left( \frac{2\pi g}{\lambda} \tanh \frac{2\pi}{\lambda} \right)^{-1/2} \quad (5)$$

### 2.3.2- Celeridade de uma onda

A celeridade é a velocidade de propagação de uma onda (unidade S.I metros/segundo). Esta é calculada pela razão entre o comprimento da onda e o período (Thorpe,1999).

$$C_o = \frac{\lambda}{T} \quad (6)$$

No caso de águas rasas a celeridade é dada pela seguinte equação 7, intermedias pela equação 8 e águas profundas pela equação 9.

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} \quad (7)$$

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda \cdot \tanh \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)}{2\pi}} \quad (8)$$

$$C_o = \sqrt{\frac{g\lambda_0}{2\pi}} = \frac{\lambda_0}{T} \quad (9)$$

### 2.3.3- Cinemática das partículas água

Segundo a teoria linear, à medida que a onda se propaga, as partículas de água descrevem uma trajetória orbital. A forma da órbita descrita pela partícula de água varia com a profundidade. Para o caso de águas profundas, a órbita é circular, com o diâmetro diminuindo à medida que a profundidade aumenta. Para águas intermédias e rasas, a órbita toma a forma de uma elipse que se torna mais achatada com o aumento da profundidade (Mendes, 2011).

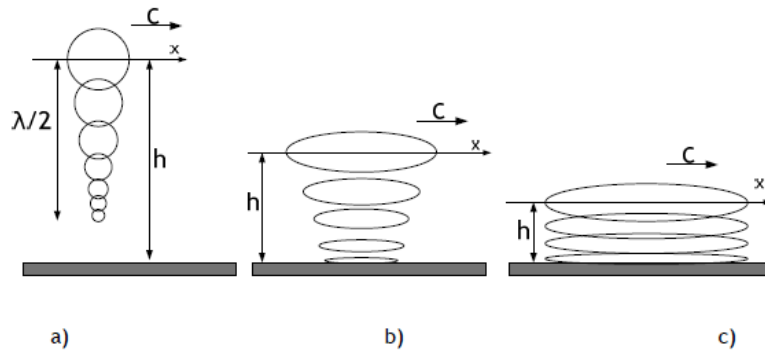


Figura- 3: Forma do trajeto elíptico para águas a) profundas, b) intermédias e c) rasas

Fonte: Mendes, 2011.

No caso bidimensional, as componentes horizontal ( $U_p$ ) e vertical ( $W_p$ ) da velocidade, aceleração e deslocamento podem ser obtidas a partir do potencial de velocidade derivado da teoria linear das ondas (McCormick, 2007).

$$U_p = \frac{\pi H}{T} \times \frac{\cosh[k(z+h)]}{\sinh(hd)} \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

$$W_p = \frac{\pi H}{T} \times \frac{\sinh[k(z+h)]}{\sinh(hd)} \sin(kx - \omega t) \quad (11)$$

Para as componentes da aceleração tem-se:

$$a_x = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \times \frac{\cosh[k(z+h)]}{\sinh(hd)} \sin(kx - \omega t) \quad (12)$$

$$a_y = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \times \frac{\sinh[k(z+h)]}{\sinh(hd)} \cos(kx - \omega t) \quad (13)$$

#### 2.3.4- Celeridade de grupo

As ondas propagam-se em grupos de várias ondas individuais. Considerando a hipótese de fluido irrotacional, na qual se baseia a teoria linear, os grupos de onda são constituídos por ondas regulares sobrepostas formando, neste caso, um padrão irregular (Falnes, 2004).

À medida que o grupo de onda se propaga, as ondas regulares frontais vão diminuindo em altura, acabando por desaparecer ao mesmo tempo que novas ondas surgem na retaguarda do grupo. A celeridade de um grupo de ondas é menor que a celeridade de uma onda regular contida no grupo, sendo dada por:

$$C_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{T} \left[ 1 + \frac{\frac{4\pi h}{\lambda}}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{\lambda}\right)} \right] \quad (14)$$

Para o caso de águas profundas, a celeridade de grupo é metade da celeridade individual de uma onda. Em águas rasas a celeridade de grupo é igual a individual (McCormick, 2007).

#### 2.3.5- Energia de onda

As ondas do oceano representam energia mecânica em transição. Esta energia mecânica resulta da soma das energias cinética e potencial das ondas superficiais. Trata-se de uma característica fundamental a ser considerada em sistemas de conversão de energia uma vez que condiciona o projeto e desempenho do dispositivo de conversão (Mendes, 2011).

$$E = E_c + E_p = \frac{\rho g H^2 \lambda}{16} + \frac{\rho g H^2 \lambda}{16} = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} \quad (15)$$



De acordo com o mesmo autor, muitas vezes torna-se útil expressar a energia por unidade de superfície de área, ou seja, por comprimento de onda considerando uma largura unitária. Assim a energia é definida em termos de densidade sendo dada por:

$$\bar{E} = \frac{E}{\lambda} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (16)$$

### 2.3.6- Potência de onda

A potência de uma onda representa a taxa que a energia das ondas se propaga, através de um plano perpendicular a direção da onda. Esta é obtida através da velocidade de grupo e a energia contida na onda (Assis, 2010).

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot C_g \cdot L}{8} \quad (17)$$

## 2.4- Classificação Das Tecnologias De Aproveitamento Da Energia Das Ondas

Os dispositivos utilizados no aproveitamento da energia das ondas são usualmente ordenados consoante a distância da costa para que são projetados: costeiros (onshore), perto da costa (nearshore) e oceânicos (offshore).

Os dispositivos podem ser classificados consoante a técnica de extração de energia das ondas do oceano, tal como se descreve:

- ✓ Coluna de água oscilante, CAO ("OWC - Oscillating Water Column");
- ✓ Corpos oscilantes ("Oscillating Bodies");
- ✓ Galgamento ("Overtopping Devices");
- ✓ Dispositivos com câmara hiperbárica.

Na tecnologia coluna de água oscilante, o movimento das ondas provoca a pressurização e despressurização do ar dentro de uma estrutura, fazendo com que o mesmo tenha uma passagem forçada através de uma turbina que está acoplada a um gerador elétrico. O modelo de turbina mais usado é do tipo *Wells* (Rodriguês, 2008).

O galgamento consiste em uma estrutura parcialmente submersa, ocorre a captura da água por uma rampa que leva um reservatório localizado acima do nível do mar, quando água deixa tal reservatório passando por uma turbina hidráulica de modelo convencional acoplada a um gerador elétrico ocorre à conversão da energia (Falcão, 2010).

A tecnologia dos corpos oscilantes visa o aproveitamento da disponibilidade de energia em águas com profundidade superior a 40 metros, podendo ser estruturado de modo flutuante ou submerso (Falcão, 2010). Como exemplo de modelo de flutuante tem-se o *Norwegian buoy*, o modelo mais simples que consiste em uma boia ligada a um referencial fixo no fundo do mar. Este modelo foi testado em 1983 (Budal *et al.*, 1982).

Atendendo aos dispositivos de corpos flutuantes, estes podem ser classificados consoante a colocação da estrutura relativamente à direção incidente ou devido ao tipo de movimento do dispositivo face às ondas incidentes. Segundo Mendes (2011), os dispositivos flutuantes podem ser classificados como:

- Absorção pontual ("Point absorber");
- Terminais ("Terminator");
- Atenuador ("Attenuator").

## **2.5 Tecnologias Existentes**

### **2.5.1- Wave dragon**

O Wave dragon é um dispositivo flutuante para aplicação em alto mar. O seu período de funcionamento baseia-se na acumulação de água num reservatório sobrelevado relativamente ao nível medio da superfície livre do mar. A água acumulada é devolvida ao mar através de turbinas hidráulicas Kaplan de baixa queda que acionam geradores elétricos. A acumulação de água no reservatório sobrelevado produz-se através do galgamento de uma rampa inclinada pela onda. Para aumentar o desnível de galgamento, existem dois refletores parabólicos colocados a montante da rampa que nela concentram a onda incidente. A estrutura metálica inclui dois concentradores parabólicos, turbinas do tipo Kaplan, os geradores elétricos, sistemas de aquisição e controle, os sistemas auxiliares e o sistema de amarração (Assis 2010).

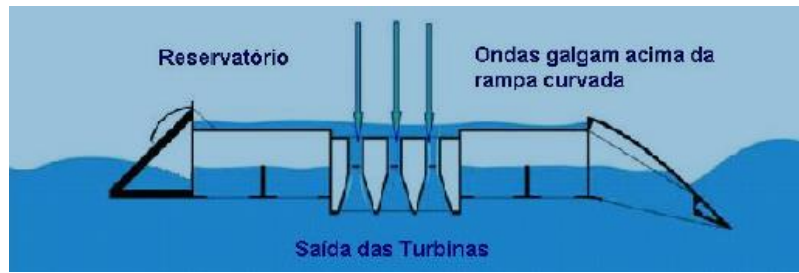


Figura 4: Esquema de Funcionamento do Wave Dragon

Fonte: Assis, 2010.

### 2.5.2- AquaBuOY

O mecanismo AquaBuoy é um dispositivo constituído por um tubo cilíndrico reto aberto em ambas as extremidades permitindo a entrada e saída de água. Superiormente está ligado a um flutuador que o sustenta próximo da superfície. No interior do tubo existe um disco largo de flutuação neutra, o pistão. Uma mangueira de borracha com reforço de aço liga o pistão ao flutuador. O movimento relativo destas partes provoca uma variação do volume interno da mangueira, pressurizando a água contida no seu interior. Um acumulador de alta pressão localizado no flutuador alimenta uma turbina hidráulica que por sua vez aciona um gerador elétrico para a produção de eletricidade (Calejo 2012).

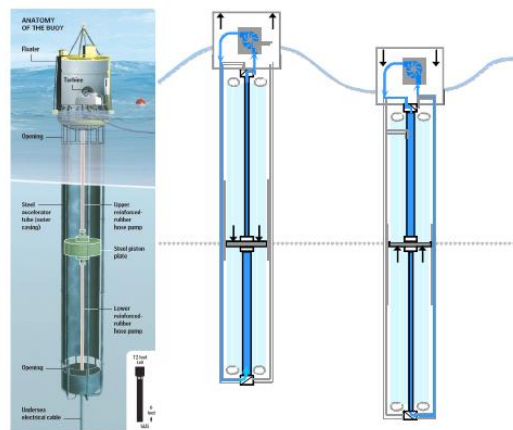


Figura 5: Principais partes constituintes do AquaBuOY e seu princípio de funcionamento

Fonte: Weinstein, 2006.

### 2.5.3- Pelamis

Pelamis é um dispositivo *Offshore* flutuante com princípio de funcionamento que consiste em vários flutuadores presos uns aos outros por meio de dobradiças. Assim, com a passagem das ondas estas juntas se movem acionando bombas hidráulicas que injetam líquido (óleo) num sistema de acumulação hidráulico. Esta líquida acumulada em alta pressão é então liberado acionando geradores elétricos (Machado, 2013).

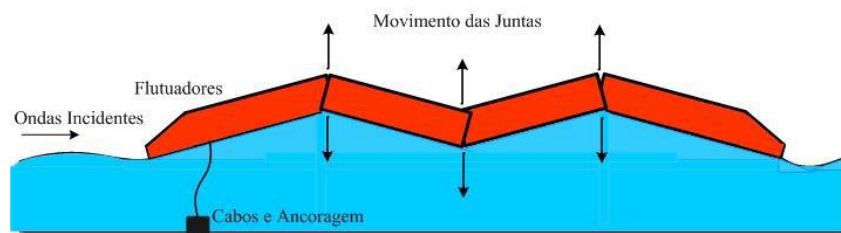


Figura 6: Princípio de Funcionamento do Pelamis

Fonte: Machado, 2013

### 2.5.4- Archimedes wave swing

O Archimedes Wave Swing (AWS) é um sistema que converte a energia das ondas em energia elétrica. Originalmente desenvolvido pela Teamwork Technology BV, atualmente os direitos são propriedade da AWS Ocean Energy Ltd, o seu funcionamento consiste numa estrutura oca de aço submersa, composta por dois cilindros concêntricos cujo movimento relativo entre eles é criado por ação da onda incidente (Morais, 2009).

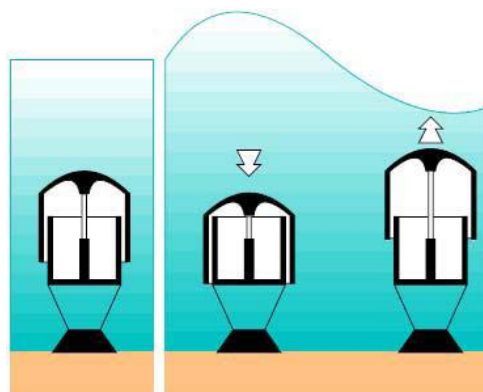


Figura 7: Princípio de Funcionamento do AWS Ocean Ltd.

Fonte: Moraes, 2009.

Segundo Moraes (2009), o cilindro inferior está fixo ao fundo do mar enquanto o cilindro superior se movimenta verticalmente. No seu interior existe ar pressurizado a uma pressão tal que equilibra o peso exercido pela coluna de água exterior sobre a parte superior da estrutura em repouso. Quando a crista da onda se aproxima, a pressão hidrostática no topo da estrutura aumenta fazendo com que a parte superior da estrutura comprima o ar existente dentro do cilindro superior até que se registre uma igualdade entre pressões. O inverso acontece quando a cava da onda passa e o cilindro se expande. O movimento linear relativo entre os cilindros, é convertido em eletricidade através de um sistema de extração de energia (PTO – *Power Take-Off*).

### 2.5.5- Colunas de água oscilante

As topologias que empregam colunas de água oscilante compreendem estruturas de concreto ou aço parcialmente submersas, cheias de ar (câmaras de ar). A parte de baixo fica aberta para que as oscilações das ondas incidentes produzam diferenças de pressão entre o interior da câmara-de-ar e o meio externo, fazendo com que se crie um fluxo de ar na abertura da parte superior, que permite acionar uma turbina que encontr acoplado a um gerador, gerado eletricidade. Uma turbina de fluxo axial *Wells*, inventada na década de 70, geralmente é utilizada. Esta turbina tem a vantagem de manter o sentido de rotação mesmo com a inversão do fluxo de ar, causado pelas mudanças de pressão dentro da câmara (Machado, 2013).

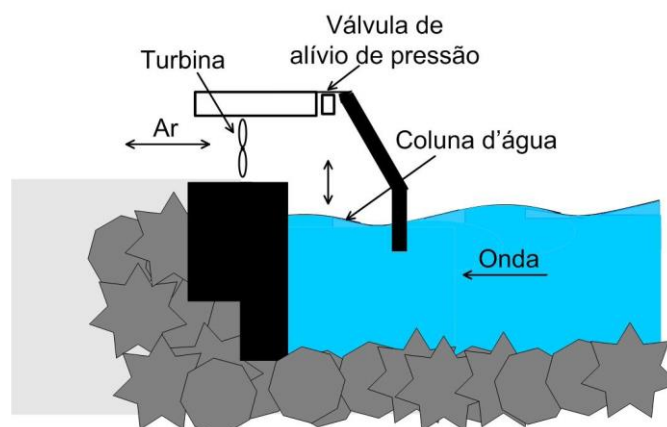


Figura 8: Dispositivo Baseado em Coluna de Água Oscilante.

Fonte: Machado, 2013.

### 2.5.6- Conversor câmara hiperbárica

O aproveitamento da energia das ondas é feito através de flutuadores fixos em estruturas horizontais articulados que se movimentam atuando como braços de alavanca. Estes braços, numa certa forma, multiplicam as forças vindas do flutuador, para acionar bombas hidráulicas (Assis, 2010).

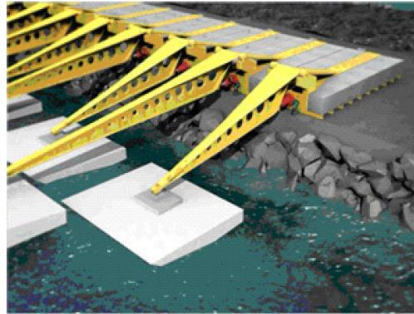


Figura 9: Conversor

Fonte: Assis, 2010.

As bombas realizam a compressão do fluido durante a movimentação dos flutuadores para abastecer e manter a pressão dentro de uma câmara hiperbárica. A água que abastece o acumulador, é então libertada em forma de jato de água, para acionar uma turbina, produzindo energia elétrica no gerador elétrico (Oliveira, 2015).

### 2.5.7- WaveRoller

O dispositivo WaveRoller, desenvolvido pela AW-Energy's, é constituído por uma placa articulada, ancorada no fundo do mar em profundidades de água moderada (20 m) e orientada perpendicularmente à direcção de propagação das ondas, oscilando como um pêndulo invertido devido ao movimento das partículas de água (Hyysalo, 2006).

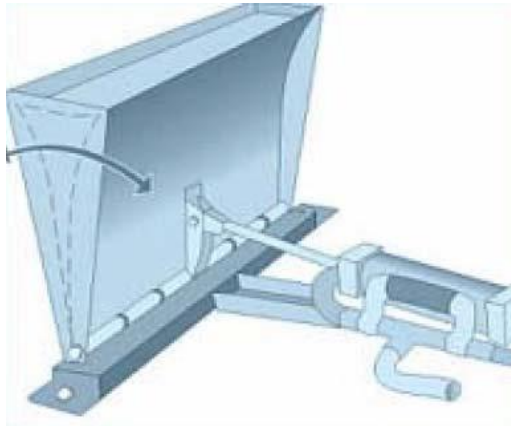


Figura 10: Ilustração da tecnologia WaveRoller

Fonte: Hyysalo, 2006.

## 2.6- Conversor Câmara Hiperbárica

O funcionamento do sistema é baseado no bombeamento de água realizado pela ação de ondas em flutuadores. Através de braços mecânicos em forma de alavanca, acionam bombas hidráulicas. A bomba hidráulica, presa a uma base fixa, injeta água num sistema hidráulico a alta pressão, fazendo assim, o armazenando da energia intermitente extraída das ondas. Uma válvula fixa ao sistema hidráulico controla um jato d'água com pressão e vazão suficientes para acionar uma turbina e o gerador (Esperança *et. al.*, 2006).

A topologia de geração é dividida em:

- ✓ Unidade de Conversão Primária (UCP): engloba os equipamentos responsáveis por extrair a energia das ondas (flutuador e bomba hidráulica), realizar o armazenamento hidráulico (acumulador hidropneumático e câmara hiperbárica) e converter a potência hidráulica em potência mecânica (turbina hidráulica).
- ✓ Unidade de Conversão Secundária (UCS): engloba os equipamentos responsáveis pela conversão eletromecânica de energia (gerador elétrico).

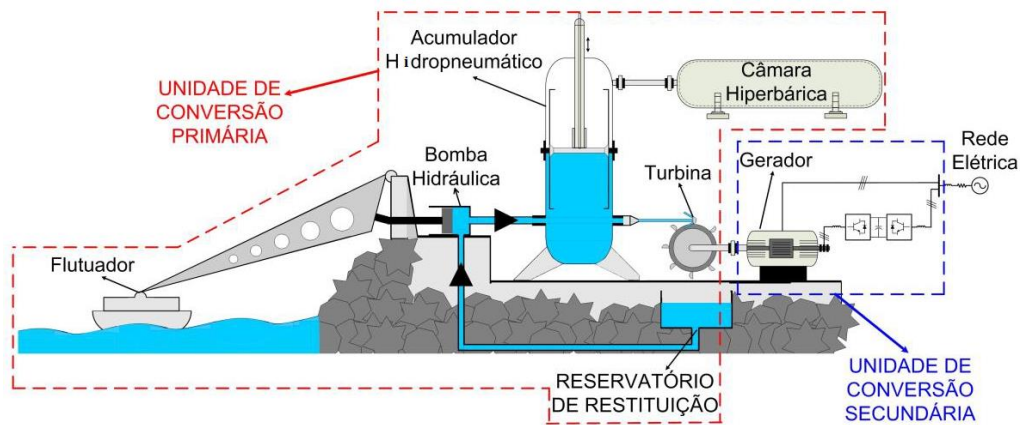


Figura 11: Topologia do conversor de energia das ondas

Fonte: Bozzi, 2012.

### 2.6.1- Flutuador e bomba hidráulica

Dentro da unidade de geração primária, os equipamentos são responsáveis pela absorção direta da energia potencial das ondas (flutuador) e transformação em energia cinética através de um fluxo de água injetado num sistema hidráulico em alta pressão (bomba hidráulica).

Primeiramente, para que seja desenvolvido um modelo analítico desta parte do sistema é necessário que algumas simplificações sejam consideradas. Para Garcia *et al* (2010), considera-se que o flutuador seja acoplado diretamente à bomba hidráulica. Para realizar a modelagem considera-se ainda que a atuação do flutuador e braço mecânico sobre a bomba seja similar à atuação sobre um sistema massa mola.

O modelo completo do sistema considera o movimento de *pitch* entre o flutuador e o braço de alavanca utilizado para acionar a bomba tipo pistão-cilindro. A utilização desse modelo completo é importante para análises de eficiência hidrodinâmica e absorção da energia contida na onda pelo flutuador (Esperança *et. al.*, 2006).



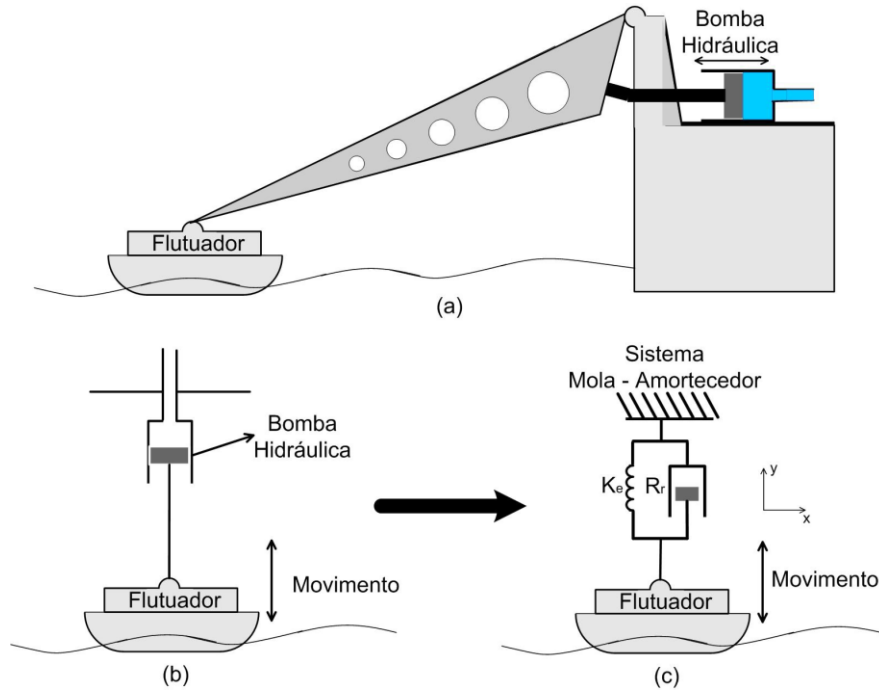


Figura 12: Funcionamento do dispositivo

Fonte: Bozzi, 2012.

A equação que determina o movimento do flutuador é desenvolvida a partir da análise do modelo equivalente da Figura acima. Logo, o comportamento do sistema é dado por:

$$My(t) + R_r y(t) + K_e y(t) = F_e + F_p \quad (18)$$

Onde  $M$  é a massa do flutuador (kg),  $R_r$  é o coeficiente de amortecimento potencial ou coeficiente de radiação (kg/s),  $K_e$  o coeficiente de elasticidade do corpo oscilante (N/m). As forças externas aplicadas ao flutuador são: a força da onda  $F_e$  e do pistão  $F_p$ .

De acordo com Falnes (2002), a força de excitação ( $F_e$ ) aplicada a um determinado corpo oscilante devido à ação de uma onda senoidal é dada por:

$$F_e = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho g^2 A^2 R_r}{\omega K}} \times \sin(\omega) \quad (19)$$

A força que o pistão exerce sobre o corpo oscilante,  $F_p$ , é dada por:

$$F_p = A_1 \cdot P_1 \quad (20)$$

Onde  $P_1$  e  $A_1$  representam a pressão interna do sistema hidráulico e área da seção transversal da bomba hidráulica, respetivamente.

### 2.6.2- Acumulador hidropneumático e câmara hiperbárica

A principal função do sistema hidráulico no protótipo de extração de energia das ondas é a atuação como uma unidade de armazenamento de energia. A Figura apresenta a topologia do acumulador hidropneumático e as variáveis utilizadas no modelo desenvolvido. Na Figura 13 a câmara hiperbárica não é mostrada, porém a função deste equipamento é de atuação como “pulmão” dando um volume adicional de ar pressurizado ao sistema.

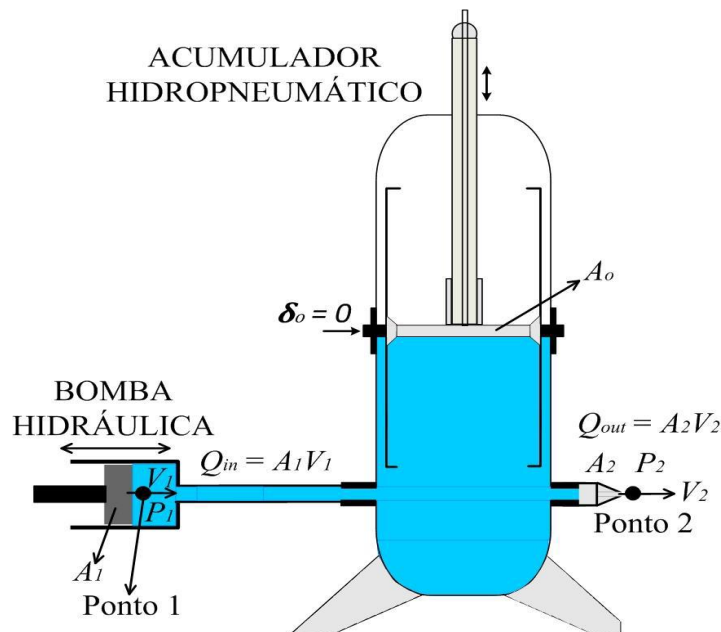


Figura 13: Topologia do acumulador hidropneumático e variáveis envolvidas na modelagem.

Fonte: Bozzi, 2012.

O modelo do sistema de armazenamento é baseado na equação de *Bernoulli* para líquidos incompressíveis. Vários exemplos de modelagem de sistemas hidráulicos são apresentados.

$P$  – Pressões em N/m<sup>2</sup>;

$h$  – Alturas de líquido em m;

$V$  – Velocidades do líquido em m/s;

$g$  – Aceleração da gravidade em m/s<sup>2</sup>;

$A$  – Áreas das secções transversais;

$\rho$  – Massa específica em kg/m<sup>3</sup>;

$\delta$  – Posição do pistão interno do acumulador hidropneumático em m;

$Q$  – vazões em m<sup>3</sup>/s.

Aplicando a equação de *Bernoulli* para os pontos 1 e 2 indicados na Figura, obtém-se:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g h_2 \quad (21)$$

Através da análise da posição do pistão interno do acumulador,  $\delta$ , avalia-se a energia instantânea armazenada, atingindo seus níveis máximo e mínimo para as posições  $\delta_{max}$  e  $\delta_{min}$ , respetivamente.

Observando a Figura 13, os pontos 1 e 2 encontram-se num mesmo nível de referência, logo na equação 21 cancelam-se os termos relacionados com as alturas de líquido ( $h_1 = h_2 = 0$ ). Desta forma, aplicando esta consideração, a velocidade do jato d'água na saída do acumulador ( $V_2$ ) é dada por:

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + \frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)} \quad (22)$$

A potência hidráulica na saída do acumulador hidropneumático é dada por:

$$P_H = P_2 V_2 A_2 \quad (23)$$

### 2.6.3- Turbina hidráulica

A turbina hidráulica é um equipamento que tem a função de transformar a potência do jato d'água, em forma de pressão e vazão, em potência mecânica, em forma de torque e velocidade. Para este modelo de conversor é aconselhável utilizar uma turbina Pelton. A Figura 14 abaixo contém a representação esquemática da turbina. A periferia do rotor (roda), está equipada com um conjunto de pás (copos) distribuídos regularmente (Oliveira e Lopes, 2016).

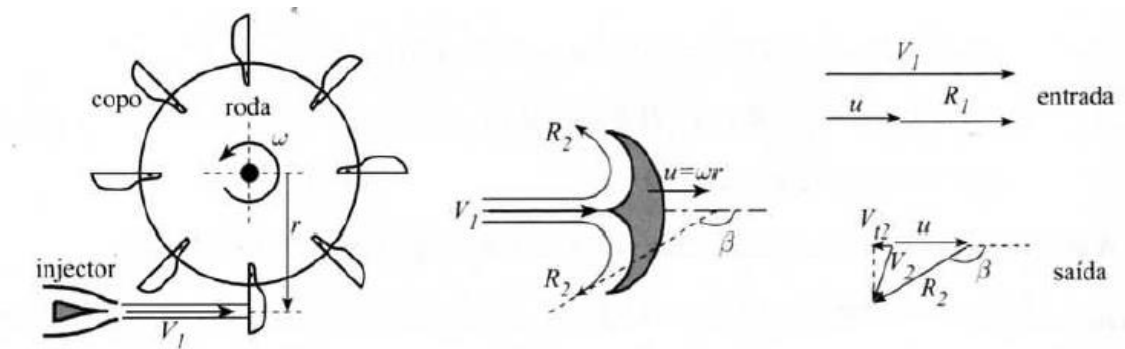


Figura 14: Representação esquemática da turbina

Fonte: Oliveira e Lopes, 2016.

De acordo com o mesmo autor, ao fim de uma rotação completa da roda, cada um dos corpos é atingido uma vez, de frente pelo jato de água proveniente do injetor. Ao incidir sobre o corpo, o jato é defletido de um ângulo  $\beta$  para cada um dos lados, de forma simétrica. Em teoria, o ideal seria  $\beta = 180^\circ$ . Na prática, são usados valores próximos de  $\beta = 165^\circ$ .

Tendo com base esta análise descrita acima da turbina Pelton, é possível calcular o binário, dado pela equação abaixo:

$$\tau = m \cdot r \cdot (V_1 - u) \cdot (1 - \cos\beta) \quad (24)$$

A velocidade do jato de água expressa na seção anterior, em função dos parâmetros da turbina é dado por:

$$V_{jato} = cv\sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (25)$$

Onde:

H é a altura de queda livre

cv- coeficiente de velocidade, que varia de 0,97 a 0,99, devido as perdas no injetor.

A este binário, corresponde uma potencia teórica dada por:

$$P = \tau. \omega = m. u. (V_1 - u). (1 - \cos\beta) \quad (26)$$

#### **2.6.4- Geradores**

Na geração de energia elétrica, o tipo de máquina mais utilizada é o gerador síncrono. Os geradores assíncronos (geradores de indução) têm sido usados na geração eólica, por questões de robustez, e da facilidade de escalonamento de instalações operacionais a partir de protótipos baseados em máquinas menores – o modelo dinamarquês. Essa escalabilidade não é imediata no caso de geração a partir de energia das ondas (Falcão, 2010). Por essa razão, as máquinas dedicadas à geração a partir de conversores de ondas se dividem primeiramente quanto à topologia (acionamento linear ou rotativo) e a partir dessa topologia, quanto à forma de geração, síncrona ou de indução.

#### **2.6.5- Topologia linear e rotativa**

A topologia linear é a princípio a mais facilmente ajustável ao elemento de acionamento que faz um movimento de deslocamento linear (Kim *et al.*, 2013). O acionamento direto, que caracteriza esse caso, tem a vantagem de ter uma interface mecânica mais simplificada, reduzindo as perdas associadas a esse item. A eficiência elevada; a estrutura de simples fixação e a capacidade de conversão de ondas de baixa frequência são algumas de suas vantagens (Arof *et al.*, 2004). A principal desvantagem é a presença de oscilações indesejáveis que podem variar a potência de saída, encurtar o tempo de vida da estrutura e aumentar o custo de manutenção (Arof *et al.*, 2004).

As categorias de máquinas lineares, de acordo com Drew *et al.* (2009), são:

- ✓ Geradores de fluxo longitudinal com ímãs permanentes;
- ✓ Geradores de relutância variável com ímãs permanentes;
- ✓ Geradores de fluxo transversal com ímãs permanentes;
- ✓ Geradores tubulares com ímãs permanentes e núcleo de ar.

A topologia rotativa requer acoplamento mecânico ou hidráulico entre o conversor de energia das ondas e o gerador, e também, de acordo com Drew *et al.* (2009), englobam as seguintes categorias:

- ✓ Geradores de indução com dupla alimentação;
- ✓ Geradores de indução gaiola de esquilo;
- ✓ Geradores síncronos com ímãs permanentes;
- ✓ Geradores síncronos com rotor bobinado.

## **2.7- Potencial Energético Marítimo Em Cabo Verde**

De acordo com “B. O.” DA REPUBLICA DE CABO VERDE, I SÉRIE (2012) os oceanos possuem um elevado potencial energético, uma vez que recebem energia do sol e dos ventos. Esta energia fica concentrada e armazenada sobre formas potenciais de energia, quer sejam sobre a forma de ondulação, correntes marítimas ou gradientes térmicos.

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos diversos protótipos para aproveitamento da energia das ondas. As ondas do mar possuem mais energia (maior concentração energética) quando comparadas com outras fontes de energias renováveis, nomeadamente eólica e solar.

A energia das ondas deverá ser uma das fontes energéticas com maior importância no futuro. Este tipo de energia renovável encontra-se, ainda, em fase inicial de desenvolvimento, mas, com um conjunto de países (Portugal, Canadá, Reino Unido, Irlanda) a apostar fortemente nesta vertente, espera-se que nos próximos anos se atinja

maturidade suficiente para permitir a implementação de projetos em grande escala, tal como acontece com a energia eólica no presente.

Os estudos realizados demonstram que é possível superar os 50% de energias renováveis em Cabo Verde até 2020 de forma tecnicamente viável e economicamente competitiva, desde que se cumpra um conjunto de requisitos ao nível das infraestruturas de suporte e do financiamento.

## **2.8- Impactes Ambientais Associados a Conversão Da Energia Das Ondas**

Segundo Mendes (2011), a implementação de dispositivos de conversão de energia das ondas pode ter uma série de impactes ambientais, sendo que cada impate é específico para cada local. Dentro dos impates ambientais, destaca-se as seguintes:

Impactes visuais:

- ✓ Dispositivos próximos da costa têm uma maior tendência para serem responsáveis por um maior impacto visual.
- ✓ A sinalização luminosa pode ser também considerado um impacto visual quando visível de terra, resultante da demarcação da área ocupada pelos dispositivos.
- ✓ Existência de estruturas em terra para a transmissão de energia elétrica para a rede.

Ruído:

- ✓ O impacto ambiental associado ao ruído é muitas vezes negligenciado mas pode ser considerável.
- ✓ Como o som se propaga até distâncias maiores debaixo de água, o ruído provocado pelos dispositivos de extração de energia das ondas pode, no entanto, influenciar os sistemas de navegação e comunicação de certos animais marinhos.
- ✓ A instalação desses dispositivos constitui uma barreira física para os percursos migratórios das espécies, o que aliás acaba por ser salvaguardado por motivos de projeto e instalação, devido às distâncias impostas entre os dispositivos.

Relativamente ao problema de emissão de poluentes, ao produzir eletricidade estes dispositivos não emitem qualquer tipo de poluente, o que não quer dizer que sejam nulas as emissões ao longo de todo o seu ciclo de vida, tal como se verifica no processo de instalação, por exemplo, das tecnologias de extração de energia eólica. A implementação destas tecnologias envolve: extração e movimentos de terras (casos dos dispositivos costeiros):

- ✓ Processamento de materiais;
- ✓ Produção e transporte de componentes;
- ✓ Construção e modo operativo do dispositivo;
- ✓ Tratamento dos resíduos resultantes.



## CAPITULO III: CASO DE ESTUDO

### 3.1- Local De Implementação

São Pedro é uma aldeia piscatória que fica 7 km a Sudoeste da cidade do Mindelo e perto do Aeroporto Internacional “Cesária Évora”. O vale de São Pedro desemboca numa bela praia de areias brancas e águas turquesas, na baía homónima onde se situa a aldeia do lado esquerdo de quem vem do Mindelo.

A paisagem é árida e majestosa e os ventos constantes tornam-na numa praia internacionalmente reputada para a prática do windsurf. A aldeia é pequena e pitoresca, com casas coloridas. Praticamente apenas pescadores a habitam.

No lado direito do vale existe a zona de Santo André, com uma capela como nome do santo, que há alguns foi rodeada pelo empreendimento turístico Foya Branca. Existem ainda em Santo André algumas casas particulares e um restaurante de um reformado sueco que aí vive.



Figura 15- Localização da zona São Pedro

Fonte: Google Earth

Os dados apresentados na tabela 3, indicam a variação dos parametros climáticos em São Pedro, ao longo de um ano. Em termos de media, em São Pedro a radiação global

horizontal é 5,72 kwh/m<sup>2</sup>/dia. A temperatura media é aproximadamente 23,4 °C. Esses dados foram retirados do software PVSYST.

Tabela 3: Variação dos dados climáticos em São Pedro, São Vicente

	Irradiação global horizontal	Irradiação difusa horizontal	Temperatura	Velocidade do vento	Linke Turbidity	Relative Humidity
	kWh/m².dia	kWh/m².dia	°C	m/s	[-]	%
Janeiro	4.65	1.78	21.6	6.60	4.220	69.8
Fevereiro	5.36	2.19	21.1	6.50	4.300	70.7
Março	6.14	2.39	21.9	6.41	4.538	70.7
Abril	6.57	2.56	21.8	6.79	4.618	72.3
Maio	6.76	2.72	22.7	6.80	5.335	73.1
Junho	6.57	2.96	23.5	6.29	6.689	76.0
Julho	6.25	3.01	25.3	5.10	7.000	75.3
Agosto	5.86	3.07	26.4	4.89	6.211	77.6
Setembro	5.66	2.67	26.8	5.10	5.893	80.9
Outubro	5.35	2.46	26.3	5.40	5.176	76.7
Novembro	4.99	1.85	24.4	5.40	4.141	75.4
Dezembro	4.43	1.58	23.1	5.60	3.939	73.4
Ano	5.72	2.44	23.8	5.9	5.172	74.3

Fonte: PVsyst

Tendo como base a carta barimétrica de Cabo Verde, na Figura16, para a ilha de São Vicente mais precisamente na localidade de São Pedro este apresenta uma profundidade na costa de 27m.

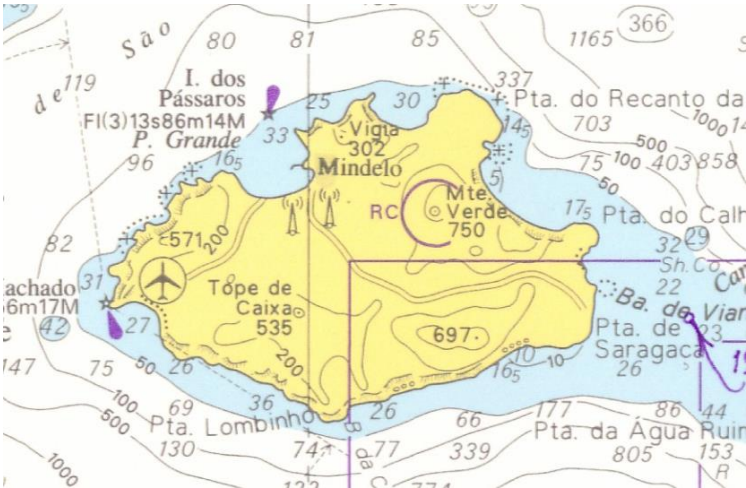


Figura 16: Carta Barimétrica de São Vicente

Fonte: Nuno Vieira.

### 3.2- Análise Do Recurso Marítimo Do Local

No site windguru foram recolhidos dados da ondulação e do período de vaga de seis em seis horas, entre 1 de Janeiro de 2019 até 11 de Novembro do mesmo ano.

As amplitudes das ondas chegam a 2m e o período das ondas são de 7 a 10 segundos o que é ótimo para o aproveitamento do potencial energético de uma central, o que leva a necessidade de um cálculo detalhado dos custos e perspectivas antes de decidir o local de implementação da central.

O Gráfico 1 mostra a variação da ondulação em um período de onze meses. Onde pode observar o máximo e mínimo da altura atingidas e o período entre as ondas incidentes. Através dos dados pode concluir que a ondulação máxima nesse período é de 2,9m e mínimo de 0,9m.

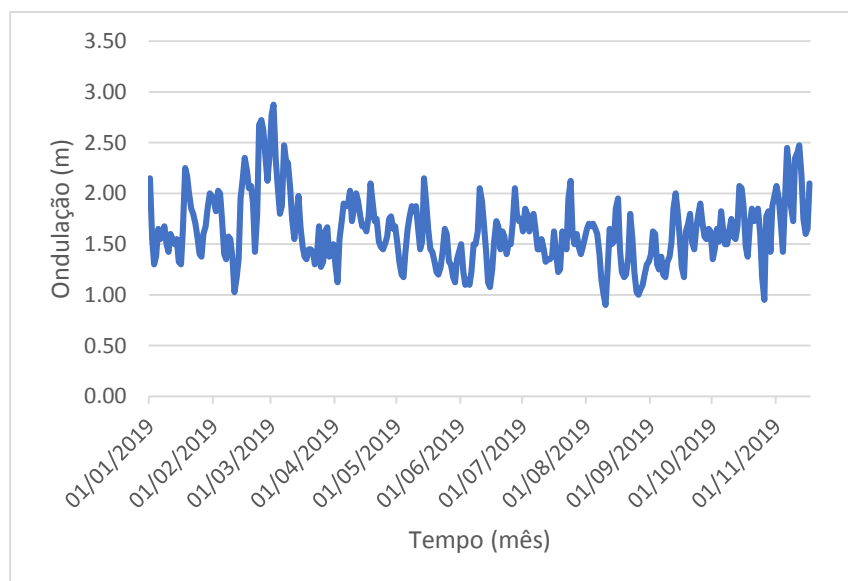


Gráfico- 1: Variação da Ondulação

Fonte: Adaptado de Windguru

O Gráfico 2 mostra a frequência de ocorrência de cada ondulação, durante um período de onze meses. Com base neste gráfico, pode-se concluir, que a ondulação de 1,5m teve a melhor ocorrência durante este período.

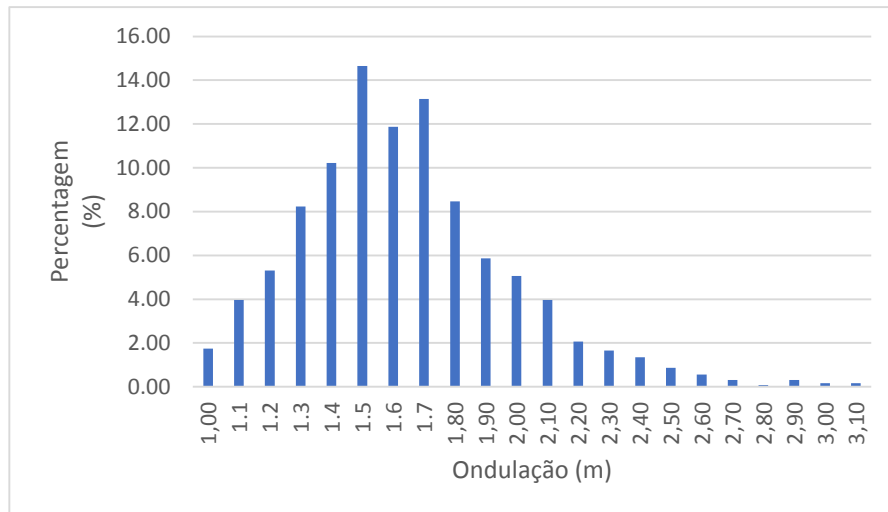


Gráfico- 2: Frequência de ocorrência da ondulação

Fonte: Adaptado de Windguru

O Gráfico 3 indica a frequência de ocorrência do período de vaga, duração onze meses. Neste gráfico pode-se constatar que 8 à 12s representam a maior frequência do período de vaga.

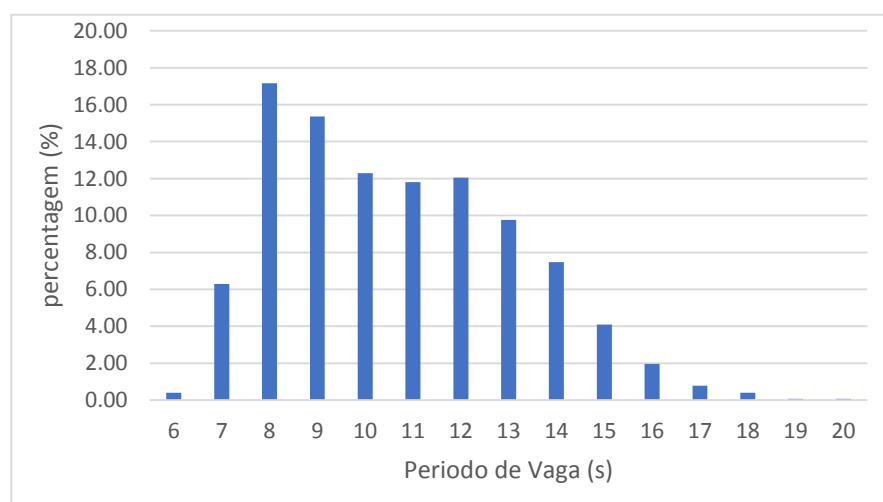


Gráfico- 3: Frequência de ocorrência do Período de Vaga

Fonte: Adaptado de Windguru

### 3.3- Calculo Dos Principais Parâmetros Da Onda

Para o cálculo da frequência angular utiliza-se a equação nº2 retirada no estado da arte, onde considera o período medio de T=10,7s

$$\omega = \frac{2\pi}{T}; \omega = \frac{2\pi}{10,7} = 0,586 \text{ rad/s}$$

Para o cálculo do comprimento da onda utiliza-se a equação nº3 referida no estado da arte onde considera-se h=11m e T=10,7s

$$\lambda = \frac{g.T^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2.h}{g.T^2}\right)}; \lambda = \frac{9,8 \times 10,7^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 \times 11}{9,8 \times 10,7^2}\right)} = 108,5 \text{m}$$

Para saber em que tipo de águas se encontra (rasa, intermedia ou profunda), verifica-se a relação entre a profundidade e o comprimento de onda:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{11}{108,5} = 0.101 \text{ Águas intermedias}$$

Para o calcula da celeridade tendo  $\lambda = 108,5$

$$C = \sqrt{\frac{g.\lambda.\tanh\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)}{2\pi}}; C = \sqrt{\frac{9,8 \times 108,5 \times \tanh\left(\frac{2\pi}{108,5}\right)}{2\pi}} = 3,13 \text{m/s}$$

Tendo o valor da celeridade, aplica-se a equação nº14 definida no estado da arte, para calcular a celeridade de grupo.

$$C_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{T} \left[ 1 + \frac{\frac{4\pi h}{\lambda}}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{\lambda}\right)} \right] \Rightarrow \frac{1}{2} \times \frac{108,5}{10,7} \left[ 1 + \frac{\frac{4 \times \pi \times 11}{108,5}}{\sinh\left(\frac{4 \times \pi \times 11}{108,5}\right)} \right] = 8,97 \text{m/s}$$

### 3.4- Energia e Potencia Disponível Na Onda

Na análise feita sobre o potencial energético da zona de São Pedro, o valor medio da amplitude de onda é 0,85m. Logo a altura de uma onda, que é o dobro da amplitude, obtém-se  $H=1,7\text{m}$ . No caso da água do mar a densidade é  $1024\text{Kg/m}^3$

$$E = E_C + E_P = \frac{\rho g H^2 \lambda}{16} + \frac{\rho g H^2 \lambda}{16} = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} \Rightarrow \frac{1024 \times 9,8 \times 1,7^2 \times 108,5}{8} = 393,3\text{kW}$$

$$\bar{E} = \frac{E}{\lambda} = \frac{\rho g H^2}{8} \Rightarrow \bar{E} = \frac{1024 \times 9,8 \times (1,7)^2}{8} = 3,6\text{kW/m}$$

O cálculo da potência da onda usa-se a seguinte equação:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot C_g \cdot \lambda}{8} \Rightarrow P = \frac{1024 \times 9,8 \times 1,7^2 \times 8,97 \times 108,5}{8} = 3528,2\text{kW}$$

$$P = \frac{P}{\lambda} = 32,5\text{kW/m}$$

Na Tabela 4 apresenta de uma forma resumida todas os parâmetros calculados, a energia e a potência disponível na onda.

Tabela 4: Calculo dos parâmetros da onda

<b>Principais parâmetros da onda</b>	
Frequência angular ( $\omega$ )	0,586rad/s
Comprimento da onda ( $\lambda$ )	108,5m
Celeridade (C)	3,13m/s
Celeridade de grupo ( $C_g$ )	8,97m/s
<b>Energia e Potencia disponível na onda</b>	
Energia (E)	3,6kW/m
Potência (P)	32,5kW/m

Fonte: Elaboração Propria

### **3.5- Dimensionamento Do Conversor**

Para efetuar o dimensionamento do dispositivo de aproveitamento de energia das ondas, na região de São Pedro, considerou-se uma potência elétrica na saída de 50kW.

Para isso seguiu-se os seguintes passos:

- ✓ Escolha do gerador;
- ✓ Conexão do gerador com a rede elétrica;
- ✓ Escolha da turbina;
- ✓ Velocidade de entrada no acumulador;
- ✓ Caudal;
- ✓ Câmara Hiperbárica;
- ✓ Flutuador.

#### **3.5.1- Escolha do gerador**

Baseando nos dados da ondulação e da potência disponível na onda na região de São Pedro, para dimensionar o conversor que ira efetuar o aproveitamento da energia das ondas, considerou-se um sistema com potência elétrica na saída de 50kW.

Tendo considerado este fato, escolheu um gerador síncrono de imas permanentes, com potência de 50kW e eficiência de 96% que apresenta as seguintes características dadas na tabela 5.

O gerador síncrono de imas permanentes consiste fundamentalmente em converter a energia mecânica de rotação gerada na turbina pelotn em energia elétrica. Neste tipo de gerador, o rotor é bobinado e o estator é constituído por imas permanentes.

O gerador escolhido é do tipo 3 Fases AC ímã Permanente, com origem em Shandong, China, de marca GreeF, com um tipo de material 100% fios De Cobre + Nd-Fe-B, com um tempo de vida de vinte anos, com uma garantia de três anos, uma eficiência de 96% e um custo de dois mil e quinhentos mil escudos (2500 000\$00)

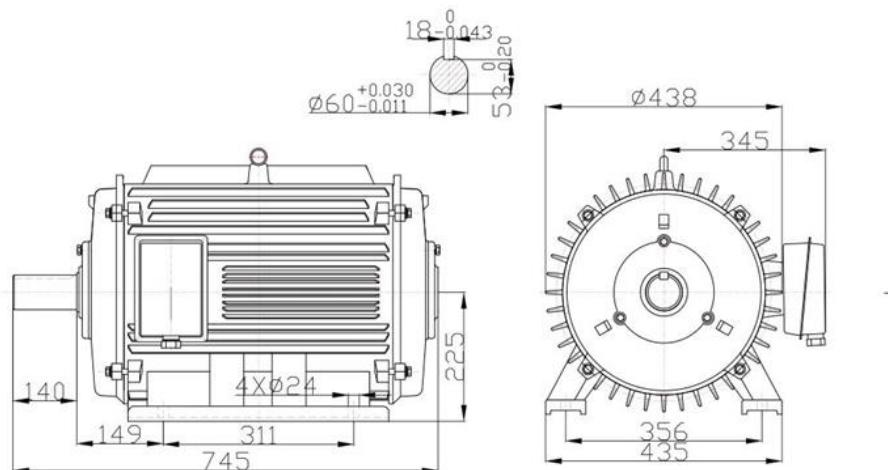


Figura 17: Gerador Síncrono de Imas permanentes

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com>

Tabela 5: Características do gerador

potência nominal	50 KW
avaliado gire a velocidade	750 rpm
tensão nominal	12-1140 VAC
Torque de partida	9.6 NM
Torque nominal	637 NM
Método Wending	Y
tipo de gerador de energia	ímã permanente AC
número de fase	três fase
classificação de graus	IP54
material do escudo do gerador	aço

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com>



### 3.5.2- Conexão do gerador com a rede elétrica

O fornecimento de energia elétrica é feito, essencialmente, a partir de uma rede de distribuição em corrente alternada, devido, principalmente, à facilidade de adaptação do nível de tensão por meio de transformadores. Em muitas aplicações, no entanto, a carga alimentada exige uma tensão contínua. A conversão CA-CC (corrente alternada-corrente contínua) é realizada por conversores chamados retificadores.

Sabendo que as ondas do mar tem uma grande oscilação e a energia produzida irá ter também essa oscilação, logo para injetar essa energia na rede deve-se levar em conta alguns parâmetros (frequência-50hz, tensão 230V entre fase e neutro, tensão 400V entre fase e uma taxa de distorção harmônica reduzida).

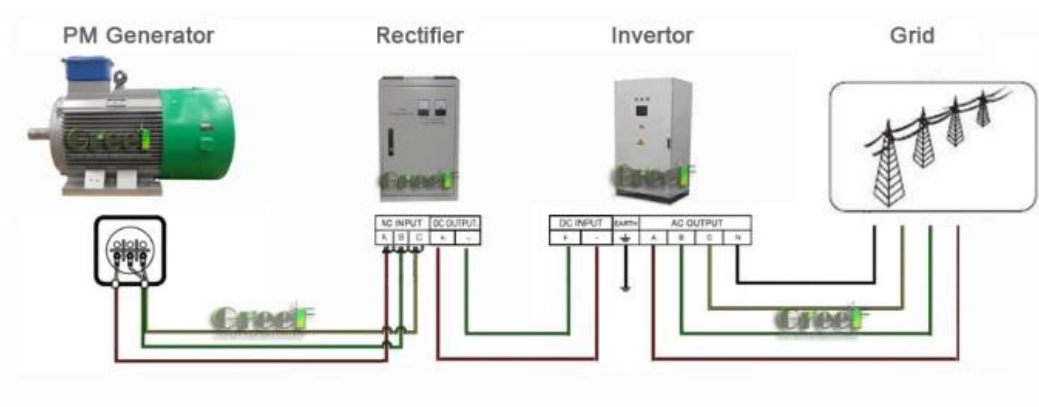


Figura 18- Conexão do gerador elétrico com a rede elétrica

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com>

### 3.5.3 Escolha do inversor e do retificador

Os inversores de corrente são equipamentos elétricos com circuitos eletrônicos específicos capazes de transformar energia CC em CA, com um custo de 994 979\$00 (novecentos e noventa e quatro mil, novecentos setenta e nove escudos). A tabela 6 apresenta todas as características do inversor.



Figura 19 – Inversor

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com>

Tabela 6: Características do inversor

Modelo		A BZP-50kW
Modelo de Isolamento		Transformador de baixa frequência
Entrada DC	Tensão Nominal (Vdc)	300-700V
	Corrente Nominal (A)	100A
Saída CA	Potência de saída nominal	50kW
	Tensão nominal	380VAC
	Corrente nominal (A)	76 A (corrente fase)
	Frequência	50Hz ou 60Hz
	Fator de potência (PF)	0.9
	Capacidade de sobrecarga	150%, 5segundos
	Eficiência energética	>93%

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com>

Um circuito retificador ou simplesmente retificador, corresponde aos circuitos elétricos de tensão elaborados para a conversão de corrente alternada em corrente de passagem. o referido retificador tem um custo de 301 575\$00 (trezentos e um mil, quinhentos e setenta e cinco escudos), peso de 80kg e um tamanho de 800\*780\*860mm.



Figura 20: Retificador

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com>

Tabela 7- Principais Características do Retificador

Entrada AC (V)	AC 220V, 10% 3 AC 380V, 10% 3
DC de saída	250-500V display digital, ajustável
DC de saída (A)	100- 200A display digital, ajustável
Potência de saída	50kW
Fator potência	Maior ou igual a 0,93
Eficiência de saída	Maior ou igual a 85%
Frequência de saída	50/60 Hz

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com>

### 3.5.4- Escolha da turbina

Uma turbina pelton é uma turbina hidráulica do tipo impulso utilizada em usinas hidroelétricas de alta altura verticas. É constituída por uma roda com um ou mais injetores, cuja função é transformar a energia de pressão do escoamento em energia cinética, orientando esse mesmo escoamento para a roda. É mais adequada para grandes quedas úteis (entre os 100 m até 2000 m). Este modelo de turbina opera com velocidades de rotação maiores que as outras, e tem o rotor de característica bastante distintas. Os jatos de água provenientes dos injetores ao chocarem com as pás do rotor (em forma de dupla colher) geram o impulso que faz com que a roda se mova. Na Tabela 8, as características da turbina.



Figura 21: Turbina

Fonte: <http://portuguese.hydropower-turbine.com>

Tabela 8: Características da turbina

Artigo	Parâmetro
Capacidade	75kW
Cabeça avaliado	73,8m
Caudal	0,1325m <sup>3</sup> /s
Tipo de turbina	Turbina horizontal de Pelton
Modelo da turbina	CJA237-W-55/1x7
Velocidade de rotação	600rpm= 34,5rad/s
Não do bocal	1
Diâmetro de jato	7cm
Diâmetro do corredor	55cm
Material do corredor	De aço inoxidável (06Cr13Ni4Mo)

Fonte: <http://portuguese.hydropower-turbine.com>

Tendo os parâmetros da turbina escolhida calcula-se a velocidade de jato:

$$V_{jato} = cv\sqrt{2 \cdot g \cdot H} \Rightarrow V_{jato} = 0,97\sqrt{2 \times 9,81 \times 350} = 80,38\text{m/s}$$

Através da equação seguinte calcula-se o valor do caudal mássico:

$$m = Q \cdot \rho \Rightarrow m = 0,1325 \times 1024 = 135,68\text{m}^3/\text{s}$$

A velocidade tangencial é dada pela seguinte equação:

$$u = \omega \cdot R \Rightarrow u = 62,83 \times 0,275 = 17,3\text{m/s}$$

Tendo calculado todos os outros parâmetros é possível determinar o binário:

$$\tau = m.r.(V_1 - u).(1 - \cos\beta) \Rightarrow 135,68 \times 0,275 \times (80,38 - 17,3)(1 - \cos 165) = 4627,08 \text{ N.m}$$

### 3.5.5- Velocidade na entrada do acumulador

Com base na equação de continuidade, admitindo que não há nenhuma perda de energia onde  $Q_1 = Q_2$ . Na entrada da câmara hiperbárica  $Q_1 = Q_2$  e foi usada uma tubulação de 15cm de diâmetro.

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow V_1.A_1 = V_2.A_2$$

$$V_1 = V_2 \cdot \frac{A_2}{A_1} \Rightarrow V_1 = 80,38 \cdot \frac{\frac{2\pi}{4} \cdot D_2^2}{\frac{2\pi}{4} \cdot D_1^2} \Rightarrow V_1 = 80,38 \cdot \left( \frac{7 \times 10^{-2}}{15 \times 10^{-2}} \right) \Rightarrow V_1 = 17,5 \text{ m/s}$$

### 3.5.6- Caudal

O caudal volumico (Q) é dado pelo produto da velocidade de escoamento de fluido pela área de seção reta da tubulação. Considerando a velocidade de 17,5m/s na entrada da câmara hiperbárica e o diâmetro da tubulação de 15cm, logo o caudal requerido é 0,3m³/s

$$Q = V_1.A_1 \Rightarrow Q = 17,5 \times \frac{\pi}{4} \times 0,15^2 \Rightarrow Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s} \times 60 \Rightarrow Q = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.5.7- Câmara hiperbárica

Neste projeto optou-se por utilizar a câmara hiperbárica com um volume de 10m³. A câmara hiperbárica é de forma cilíndrica, com 2m de diâmetro. Utilizando a equação para o cálculo do volume, sendo a altura da câmara de 3,18m.

$$V = \pi \times r^2 \times h \Rightarrow 10 = \pi \times 1^2 \times h \Rightarrow h = 3,18 \text{ m}$$

### 3.5.8- Flutuador

Optou-se por utilizar neste projeto um flutuadore, tendo um diâmetro de 2m e uma potência disponível é de 32,5 kW/m. Obtendo uma potência do flutuador de 65kW.

$$P_{flutuador} = 32,5kW/m \times 2m = 65kW$$

Considerando uma eficiencia de 78%, a potencia do flutuadore sera de 50,7 kW.

$$P_{flutuador} = 65 \times 0,78 \approx 50,7kW$$

A potencia eletrica produzida é de 50Kw é necessario dois flutuadores.

$$N^o_{flutuadores} = \frac{50kW}{50,7kW} = 1$$

Na Tabela 9 apresenta todos os calculos feitos anteriormente, de uma forma resumida.

Tabela 9: Calculos

<b>Turbina</b>	
Velocidade de Jato ( $V_{jato}$ )	80,38m/s
Caudal Mássico (m)	135,68m <sup>3</sup> /s
Velocidade tangencial ( $u$ )	17,3m/s
Binário ( $\tau$ )	4627,08N.m
<b>Velocidade e caudal na entrada do acumulador</b>	
Velocidade de entrada ( $V_I$ )	17,5m/s
Caudal (Q)	18m <sup>3</sup> /h
<b>Camara hiperbárica</b>	
Altura (h)	13,18m
Diâmetro (D)	2m
<b>Flutuador</b>	
Potência do flutuador ( $P_{flutuador}$ )	50,7kW
Número de flutuadores ( $N^o_{flutuadores}$ )	1

Fonte: Elaboração Propria

### 3.6- Viabilidade Economica Do Projeto

Na Tabela 10 mostra os custos iniciais do projetos sendo estes: Do gerador, retificador, inversor, turbina e do sistema mecanico, afim de realizar o estudo da viabilidade economica. Tendo obtido um custo total de 10 676 444\$00 (dez milhões, seiscentos e setenta e seis mil, quatrocentos e quarenta e quatro escudos).



Tabela 10: Custos do Projeto

Equipamentos	Quantidade	Preço unitário (ECV)	Preço total (ECV)
Gerador	1	2 500 000\$00	2 500 000\$00
Retificador	1	301 575\$00	301 575\$00
Inversor	1	994 979\$00	994 979\$00
Turbina	1	497 390\$00	497 390\$00
Sistema mecânico	1	6 385 500\$00	6 385 500\$00
Total			10 676 444\$00

Fonte: Elaboração Propria

Para realização do estudo da viabilidade economica do projeto utilizou-se o software RETScreen Expert que é a versão atual do software, lançada ao público em 19 de setembro de 2016. O software possibilita a total identificação, avaliação e otimização da viabilidade técnica e financeira de possíveis projetos de energia renovável e de eficiência energética, assim como a medição e verificação do desempenho real das dependências e a identificação de oportunidades de economia/produção de energia.

No software foram introduzidos as informações de custo do projeto que é de dez milhões, seiscentos e setenta e seis mil, quatrocentos e quarenta e quatro escudos e a potencia instalada de 50kW mostrada na Figura 22. O custo de cada kW/h de energia produzida pelo projeto é de 12 escudos. Tendo uma eletricidade exportada pela rede de 197MW/h anual, assim obtendo um valor anual de lucro de 2 365 200\$00 (dois milhões, trezentos e sessenta e cinco mil e duzentos escudos).

Figura 22: Dados de entrada

Fonte: Sowftware RETScreen Expert

Na Tabela 11 apresenta os parâmetros financeiros do projeto, bem como a taxa de inflação 1,3%, que reflete o aumento percentual do preço da energia produzida num determinado tempo. A vida útil do projeto é de vinte anos e a razão da dívida de 60% o que significa que 40% é do capital próprio. Taxa de juros da dívida e 8,3%, sendo que a dívida é paga num período de oito anos.

Tabela 11: Parâmetros Finaceiros do Projeto

#### Parâmetros financeiros

Taxa de inflação	%	1.3%
Vida do projeto	ano	20
Razão da dívida	%	60%
Taxa de juros da dívida	%	8.3%
Duração da dívida	ano	8

Fonte: Sowftware RETScreen Expert

A Tabela 12 apresenta o custo definido pelo usuario, que são os custos de manutenção no valor de 748 669\$00 (setecentos e quarenta oite mil, seiscentos e sessenta e nove escudos). O mesmo mostra o valor do emprestimo a ser pago anualmento, que é de 1 125 313\$00

(um milhão, cento e vinte e cinco mil, trezentos e treze escudos). Tendo em conta que o lucro da eletricidade exportada pela rede é de 2 365 200\$00 (dois milhões, trezentos e sessenta e cinco mil e duzentos escudos). Logo o projeto terá um fluxo monetário anual líquido de 491 218\$ (quatrocentos e noventa e um mil, duzentos e dezoito escudos).

Tabela 12: Custos/ Economia/ Receitas

Custos   Economia   Receitas			
<b>Custos iniciais</b>			
Custo inicial	100%	\$	10 676 444
<b>Total de custos de investimento</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>10 676 444</b>
<b>Fluxo de caixa anual - Ano 1</b>			
<b>Pagamento anual de custos e empréstimos</b>			
Definido pelo usuário		\$	748 669
Pagamento da dívida - 8 anos		\$	1 125 313
<b>Total de custos anuais</b>		<b>\$</b>	<b>1 873 982</b>
<b>Economia e receita anual</b>			
Receita com eletricidade exportada		\$	2 365 200
Receita pela redução de GEE		\$	0
Outras receitas ( custo)		\$	0
Receita da produção de EL		\$	0
<b>Total de economia e receita anual</b>		<b>\$</b>	<b>2 365 200</b>
<b>Fluxo monetário anual líquido - Ano 1</b>		<b>\$</b>	<b>491 218</b>

Fonte: Sowftware RETScreen Expert

A viabilidade financeira do projeto é observada na Tabela 13, onde se verifica que a Taxa Interna de Retorno (TIR), antes impostos-capital próprio é de 19,5%, e um TIR antes impostos- ativos de 8,5%. Tendo um retorno simples anual de 6,6 anos e retorno de capital proprio de 7,3 anos.

Tabela 13: Viabilidade Financeira do Projeto

Viabil. Financeira

TIR antes impostos-capital próprio	%	19.5%
TIR antes impostos - ativos	%	8.5%
Retorno simples	ano	6.6
Retorno do capital próprio	ano	7.3

Fonte: Sowftware RETScreen Expert

No Gráfico 4 representa o fluxo de caixa ao longo dos anos de vida do projeto. Sendo que inicialmente teramos um valor negativo em consequencia da divida durante aproximandamente 8anos. Sendo que depois desse período o valor de fluxo de caixa cumulativo ira aumentar.

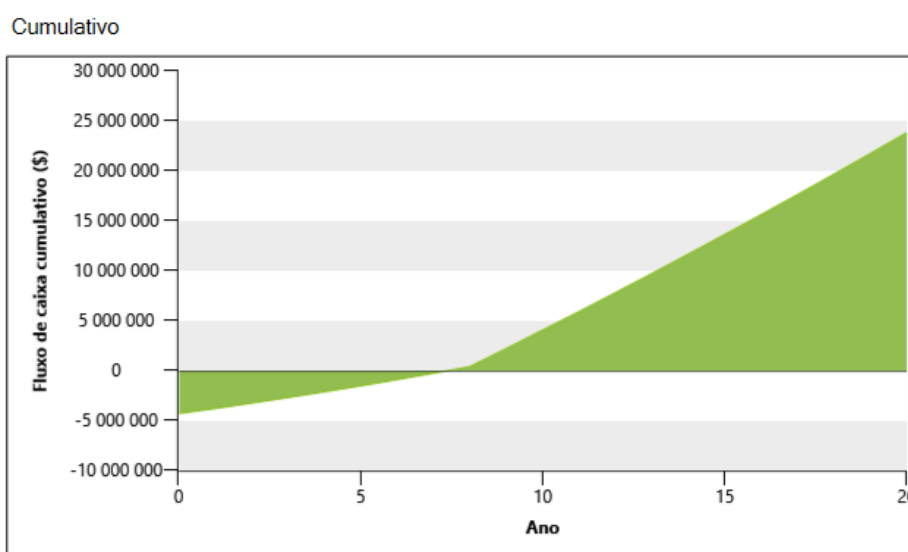


Gráfico- 4: Cumulativo

Fonte: Sowftware RETScreen Expert

### 3.7- Estimativa De Numero De Habitação Alimentada Pelo Sistema

De acordo com a Electra SA, o número de clientes da Localidade de São Pedro é de duzentos e quarenta e cinco clientes domésticos (apenas eletricidade). Relativamente ao mês de Novembro de 2019, o consumo foi de 41 742kWh o que significa uma media de 170,37Kwh por cada cliente. Levando em conta os dados do projeto, tendo uma energia anual produzida de 197 000kWh exportada para a rede, consegue-se alimentar 39,3% dos clientes ou seja noventa e seis clientes.

Tendo em conta a energia produzida anualmente pelo sistema, em media a energia mensalmente produzida é de 16 416,6kWh, conforme pode ser verificada na equação abaixo.

$$\frac{197\ 000}{12} = 16\ 416,6kWh$$

$$\frac{16\ 416,6}{41\ 742} = 0,393 = 39,3\%$$

Segundo a linha de base padronizada de Cabo Verde para o Setor de energia o fator de emissão na ilha de São Vicente é de 0,44tCO<sub>2</sub>/MWh. Neste caso com o proteja teremos uma redução de dióxido de carbono emitido para a atmosfera de 86,68tCO<sub>2</sub>.

$$1MWh \longrightarrow 0,44tCO_2$$

$$197MWh \longrightarrow x$$

$$x = 86,68tCO_2$$

De acordo com os dados do relatório e contas 2018 da Electra, SA o consumo específico de combustível (fuel oil 380) em São Vicente é de 213,1 gramas de combustível por cada kWh. Neste sentido calcula-se a poupança em combustível que é de 41,98t.

$$\frac{213,1g}{kWh} \times 197\ 000kWh = 41\ 980\ 700g = 41,98t \text{ de combustíveis}$$

## **CAPITULO IV: CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **4.1- Conclusão**

Através da pesquisa efetuada em artigos científicos, dissertações e teses, nota-se que a energia produzida pelas ondas é uma fonte renovável de energia que possui um enorme benefício para a atualidade, devido ao baixo impacto ambiental. Porém, ainda será necessário um aumento de informações acerca dessa fonte de energia, já que a energia fóssil ainda é a mais utilizada atualmente.

Portanto, faz-se a necessidade do estudo da aplicação de métodos para a aplicação da conversão de energia, maior divulgação de suas vantagens e aplicabilidade, bem como ampliar o conhecimento em relação a seus benefícios socioeconômicos.

Para que se possa avançar no aproveitamento da energia dos oceanos, é necessário investir em pesquisas, de forma a identificar os potenciais de utilização da fonte, bem como para desenvolver as tecnologias necessárias para seu aproveitamento.

Numa primeira instancia para realizar o dimensionamento de um conversor de energias das ondas em um determinado local, é de extrema importância efetuar uma análise criteriosa do recurso de energia das ondas deste local. Sempre que possível deve proceder com a instalação de boias no local onde pretende instalar o dispositivo, registrando os valores da ondulação e o período de vaga, permitindo assim efetuar o cálculo da potência e da energia disponível da onda. Tendo analisado o potencial de energia das ondas deste local, só depois deve proceder pela escolha do conversor a instalar.

No conversor de energia das ondas usando a técnica de flutuador com câmara hiperbárica, este desempenha o papel principal no conjunto de equipamentos definidos, dado que assegura um armazenamento de energia hidráulica temporária, a ser fornecida ao motor em períodos em que a velocidade do corpo é baixa.

O projeto apresentado demonstra ser viável em termos financeiro a instalação de um flutuador, com a capacidade 50 KW, para o aproveitamento da energia das ondas na zona de São Pedro em São Vicente, reduzindo assim a emissão de gases efeito de estufa.

## **4.2- Propostas De Trabalhos Futuros**

Para trabalhos futuros gostaria que fosse possível explorar a energias das ondas de uma forma mais sistemática e laboratorial, deste modo testar os dispositivos antes do teste no terreno. O que exige, para sua execução, acesso a um laboratório com tanque de ondas e simuladores.

Para trabalhos futuros sugeria também um dimensionamento de um conversor de energia das ondas que suprisse toda a demanda energética da localidade de São Pedro, bem como uma análise de um sistema Híbrido, com energia eólica e com sistema de armazenamento de energia.

Aplicabilidade do conversor de energia das ondas, na produção de água via osmose inversa, de modo a suprir a demanda de água na localidade de São Pedro.

## CAPITULO V : REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, L. (2010), *Avaliação e aproveitamento da energia das ondas oceânicas no litoral do Rio Grande Sul*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande Sul.

AROF, H. *et al* (2004), *Cogging Force Reduction Using Special Magnet Design for Tubular Permanent Magnet Linear Generator*, University of Malaya, Malásia.

«B. O.» DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, I S+ÉRIE — NO 7— 3 de fevereiro de 2012, Pág. 162.

BOZZI, F. (2012), *Análise de geração de energia elétrica a partir de ondas do mar e máquina de indução*, Dissertação de mestrado, Universidade Rio Janeiro.

BUDAL, K *et al*, (1982), *The Norwegian Wave Power buoy project*, in “The second international Symposium on Wave Energy Utilization”, Norway.

BRANCO, F. (2013), *Sistema de aproveitamento da energia das ondas oceânicas*, Dissertação de mestrado, Universidade do Algarve.

CALEJO, P. (2012), *Sistema conversor de energia das ondas do mar*, Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro.

COELHO, L. (2007), *Conversores de ação direta no aproveitamento de energia das ondas*, Dissertação mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.

CRES, (2002), *Wave energy utilization in europe*, Center for Renewable Energy Sources.

CRUZ, J. e SARMENTO, A. (2004). *Energia das Ondas - Introdução aos aspetos tecnológicos, económicos e ambientais*. Alfragide, Instituto do Ambiente.

CRUZ, J. (2008), *Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives*, Reino Unido. (Traduzido pelo autor).

DREW, B. E PLUMMER, A. Sahinkaya. (2009). A review of wave energy converter technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A: Journal of Power and Energy*, v. 223, p. 887-902.



ESPERANÇA, P. T., BUENO, A. L. & PIMENTEL, C. H. (2006). *Análise da eficiência hidrodinâmica de sistemas flutuantes para extração de energia das ondas*, Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore.

FALÇÃO, A. (2010), Wave Energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 899–918, 2010.

FALNES, J. (2002), *Ocean Waves and Oscillating Systems Linear Interaction Including Wave-Energy*, Cambridge University Press, USA.

FALNES, J. (2004) *Ocean Waves and Oscillating Systems: Linear Interactions Including Wave- Energy Extractions*: Cambride University Press.

GARCIA-ROSA, P ed al, (2010) *Modelagem Dinâmica de um Conversor Hiperbárico de Energia das Ondas em Energia Elétrica*, Em: XVII Congresso Brasileiro de Automática (CBA), Bonito - MS.

HYYSALO, T. (2007) *AW-Energy and WaveRoller*, AW-Energy, Ed., ed. Peniche – Portugal.

Instituto Nacional de Estatística (2017), *Anuário Estatístico de Cabo Verde*, Cabo Verde.

MENDES, R. (2011), *Energia das ondas: Desenvolvimento de uma tecnologia de geração (gerador tubular)*, Dissertação de mestrado, Universidade da Beira Interior.

MACHADO, I. (2013). *Geração Elétrica a Partir de Ondas do Mar – Modelo Completo e Análise do Sistema de Armazenamento de Energia*. Tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

McCORMICK, M. (2007), *Ocean Wave Energy Conversion*, Dover Publication, New York.

MORAIS, T. (2009), *Estudo da Operação de Parques de Sistemas de Conversão de Energia das Ondas em Energia Elétrica*. Universidade do Porto.

OLIVEIRA, A. ed al, (2015). *Modelagem Matemática E Hidrodinâmica Do Sistema De Acoplamento Marémotriz-Gerador*.

RODRIGUÊS, A. (2008), *Wave Power Conversion Systema for Electrical Energy Production*, 1 edição.

THORPE, T. (1999), *A Brief Review of Wave Energy*, ETSU Report Number R-120 for the DTIMay.

THORPE, T. (1999), *A Brief Review of Wave Energy*, UK Department of Trade and Industry.

WEINSTEIN, A. et al (2004), *AquaBuOY-the offshore wave energy converter numerical modeling and optimization*, Oceans '04. MTTs/IEEE Techno-Ocean.

WEINSTEIN, A. (2006), *AquaBuOY in Portugal*.

### **Web Grafia**

Cabo Verde TradeInvest, Informações sobre o setor da energia em Cabo Verde, acessado em 22 de Novembro de 2019, disponível em: <https://cvtradeinvest.com/publicacoes>

Electra (2018), Relatório e Contas, Cabo Verde, acessado em 22 de Novembro de 2018, disponível em: <http://www.electra.cv/index.php/2014-05-20-16-30-16/relatorios-norte>

Energias Renováveis Cabo Verde (2018), acessado em 22 de Novembro de 2019, disponível em: <https://www.energiasrenovaveis.cv/copia-legislacao>

Windguru, Informações sobre períodos de vaga e de ondulação da Localidade de São Pedro, acessado em Outubro de 2019, disponível em: <https://www.windguru.cz>

## ANEXOS

### Anexo- 1: Produtores de energia em Cabo Verde

Produtores	Potência Instalada, MW	Energia Produzida em 2017, KWh	Sistema de Produção
Electra, S.A. (*) Santo Antão São Vicente S. Nicolau Sal Maio Santiago Fogo Brava  Total	8,8 28,7 4,22 13,55 1,376 88,275 7,0 1,056 152,977	14.302.907 74.002.153 6.569.879 56.540.041 2.708.270 224.997.317 13.418.555 2.683.872 395.222.994	- Produção térmica (13 Centrais) - Produção eólica (1 Parque eólico) - Produção solar fotovoltaico (2 parques solares)
Cabeólica, S.A. (*) São Vicente Sal Boavista Santiago  Total	5,95 7,65 2,55 9,35 25,5	18.264.000 17.227.000 7.883.000 32.052.000 75.426.000	Produção eólica (4 Parques eólicos, compostos por 30 turbinas)
Águas e Energia de Boavista	15,104	31.408.615	- Produção térmica - Produção eólica
Águas de Ponta Preta (Sal)	6,2	26.105.687	- Produção Térmica (1 Central elétrica) - Produção eólica (2 Parques eólicos) Produção solar fotovoltaico (2 parques solares)
Electric Wind (Santo Antão)	0,5	760.908	Produção Eólica (2 unidades eólicas)

## Anexo- 2: Consumo Específico

O mix de combustíveis de todas as centrais elétricas, das empresas e em particular o consumo agregado médio para a ELECTRA, é medido em 215,8 gr/kWh de combustível necessário para produzir 1 quilowatt-hora de energia elétrica através de meios térmicos (2017: 215,4 gr/ kWh).

A meta definida pela ARE- Agencia de Regulação Económica (atualmente ARME- Agencia de Regulação Multissetorial da Economia) era de 219 gr/kWh.

Unidade Produção	Produção Térmica	Gasóleo (L)	Fuel Oil 180 (L)	Fuel Oil 380 (L)	Consumo Específico (gr/kWh)
Santo Antão	15 023 801	4 125 678			230,7
S. Vicente	56 209 705	505 976		12 031 853	213,1
S. Nicolau	6 768 239	1 905 573			236,5
Sal	45 237 219	1 200 558	10 044 566		231,0
Maio	3 599 512	1 018 848			237,8
Santiago	196 866 524	34 591	29 680 404	13 853 061	209,4
Fogo	13 767 217	3 775 073			230,3
Brava	2 795 426	805 976			242,2
<b>Total Electra</b>	<b>340 267 643</b>	<b>13 372 273</b>	<b>39 724 970</b>	<b>25 884 914</b>	<b>215,8</b>